

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DE UN CARRO DE COMPRAS BASADO EN IA CON
FUNCIONALIDADES DE ACCESIBILIDAD PARA SUPERMERCADOS
EN EL PERÚ**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Mecatrónica

AUTORA:

Lucía Gabriela Sarmiento Calderón

ASESOR:

José Guillermo Balbuena Galván


Lima, Marzo, 2025

INFORME DE SIMILITUD

Yo, José Guillermo Balbuena Galván, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería – Sección Mecatrónica de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada “*Diseño de un carro de compras basado en IA con funcionalidades de accesibilidad para supermercados en el Perú*” de la autora Lucía Gabriela Sarmiento Calderón dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 11%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el 28/03/2025.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: San Miguel – Lima, Perú, 28 de marzo del 2025.

Apellidos y nombres del asesor: Balbuena Galván, José Guillermo	
DNI: 74146973	Firma 
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5896-1942	

RESUMEN

Este trabajo presenta el desarrollo de un Carro de Compras Inteligente Potenciado por Inteligencia Artificial para supermercados en el Perú. Los supermercados enfrentan desafíos relacionados con la mejora de la accesibilidad, la reducción de los tiempos de espera y la personalización de la experiencia del cliente, especialmente para personas con discapacidades. En el contexto peruano, estos problemas se ven acentuados por limitaciones infraestructurales y la falta de soluciones tecnológicas en el comercio minorista. Para abordar estos retos, se propone el diseño de un Carro de Compras Inteligente diseñado para mejorar la experiencia de compra en supermercados, con un enfoque particular en la inclusión de personas con discapacidades. El sistema integra un asistente virtual basado en inteligencia artificial, cámaras para el reconocimiento de productos y un sistema de ajuste de altura adaptable, especialmente dirigido a usuarios con movilidad reducida o en silla de ruedas.

El carro de compras utiliza tecnologías avanzadas para la identificación de productos, destacándose el uso de la red neuronal YOLOv8obb para la detección de códigos de barras y una red neuronal convolucional personalizada para su decodificación, alcanzando una precisión del 97.8% en condiciones de entornos reales, como cambios de iluminación y rotación de productos. La eficiencia en el procesamiento de datos, con una tasa de 0.01 *frames* por segundo, garantiza una experiencia fluida para los usuarios.

El sistema no solo optimiza el proceso de compra mediante una navegación más accesible y recomendaciones personalizadas, sino que también mejora la eficiencia operativa al reducir los tiempos de espera en las cajas, resultando en una experiencia de compra más rápida y cómoda. Este diseño innovador destaca por su capacidad de adaptación a diversas necesidades de accesibilidad y mejora de la experiencia del cliente, posicionándose como una solución potencialmente transformadora para los supermercados en Perú y adaptable a otros países.

DEDICATORIA

A mi familia, el centro de mi motivación y quienes han sido mi guía a lo largo de la vida. En especial, a mi mamá, cuyo esfuerzo y valentía me han convertido en una mejor persona cada día. Este logro es un reflejo de su ejemplo y de los sacrificios que siempre me han inspirado a dar lo mejor de mí.



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que han contribuido de manera significativa a la culminación de esta tesis y a mi desarrollo académico y personal.

A mi familia, por ser mi mayor fortaleza y fuente de inspiración y amor. A mis padres, por su guía constante y sacrificios; a mis hermanas, por su apoyo incondicional; a mi abuelita, por su amor y ternura infinitos; a mis tíos y primas, por su cariño y presencia en cada etapa de mi vida. En especial, a mi mamá, cuyo ejemplo de valentía, esfuerzo y dedicación ha sido una luz en mi camino, inspirándome siempre a dar lo mejor de mí.

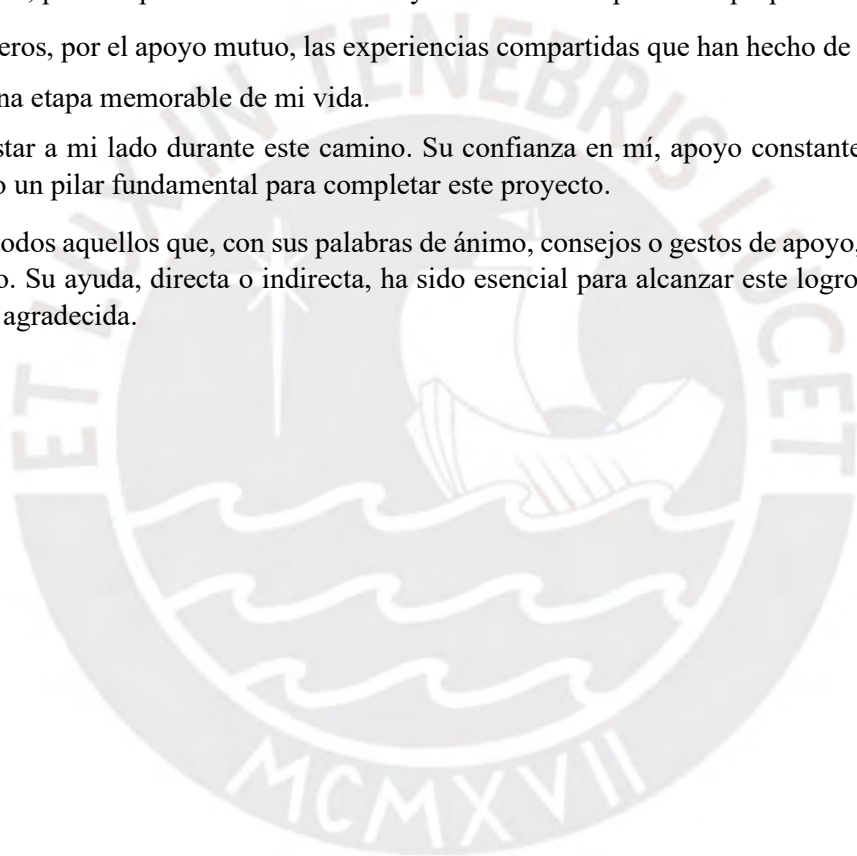
A mi asesor, por su paciencia, orientación y profesionalismo. Su dedicación y guía han sido fundamentales para alcanzar los objetivos de este trabajo.

A mis profesores, por compartir su conocimiento y motivarme a superar mis propios límites.

A mis compañeros, por el apoyo mutuo, las experiencias compartidas que han hecho de mi experiencia universitaria una etapa memorable de mi vida.

A Julio, por estar a mi lado durante este camino. Su confianza en mí, apoyo constante y palabras de ánimo han sido un pilar fundamental para completar este proyecto.

Finalmente, a todos aquellos que, con sus palabras de ánimo, consejos o gestos de apoyo, han sido parte de este proceso. Su ayuda, directa o indirecta, ha sido esencial para alcanzar este logro, y por ello les estaré siempre agradecida.



ÍNDICE

INFORME DE SIMILITUD.....	i
RESUMEN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS.....	xvi
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Problemática	2
1.3. Propuesta de solución.....	3
1.4. Objetivos del proyecto.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Alcance	5
1.6. Metodología.....	5
2. CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE	6
2.1. Sistemas integrales	6
2.1.1. Amazon Dash Cart	7
2.1.2. Caper Cart	7
2.1.3. “Líder al carro”	8
2.1.4. El carro de la compra inteligente.....	8
2.1.5. DAiVi.....	8
2.1.6. Smart shopping cart system	9
2.1.7. Tabla comparativa de sistemas integrales	9
2.2. Subsistema de interacción humano-robot.....	10
2.2.1. Sistema basado en Diálogos Multimodales y Adaptables.....	10
2.2.2. Sistema basado en voz para el entrenamiento de comportamientos.....	10
2.2.3. Gesture Based Remote System Using Kinect	11
2.2.4. An Augmented Reality Interface in Unconstrained Environments.....	11
2.2.5. Smart Shopping Trolley Using Sign Language.....	12
2.2.6. Tabla comparativa de sistemas de interacción humano-robot.....	12
2.3. Subsistema mecánico.....	13

2.3.1.	Carros de compra estándares.....	13
2.3.2.	Carros de compra para usuarios con sillas de ruedas	14
2.3.3.	Carros de compra para personas mayores	14
2.3.4.	Tabla comparativa de sistemas mecánicos.....	15
2.4.	Subsistema de elevación.....	15
2.4.1.	Mesa elevadora tipo tijera simple.....	15
2.4.2.	Escritorio graduable manualmente.....	16
2.4.3.	Mesa graduable con accionamiento neumático.....	16
2.4.4.	Escritorio graduable con accionamiento eléctrico.....	17
2.4.5.	Escritorio regulable accionado manualmente	17
2.4.6.	Tabla comparativa de sistemas de elevación.....	17
3.	CAPÍTULO III: DISEÑO CONCEPTUAL	18
3.1.	Requerimientos del sistema	18
3.2.	Definición de entradas y salidas	21
3.3.	Estructura de funciones	22
3.4.	Matriz morfológica.....	23
3.5.	Concepto de solución óptimo.....	25
3.6.	Diagrama de flujo.....	25
3.7.	Diagrama de operaciones.....	29
3.8.	Diagrama de bloques.....	30
4.	CAPÍTULO IV: DISEÑO DE HARDWARE.....	31
4.1.	Subsistema de control	31
4.2.	Subsistema de interacción.....	32
4.2.1.	Obtención de inputs del usuario	32
4.2.2.	Respuesta al usuario	35
4.3.	Subsistema de compra de productos.....	36
4.3.1.	Identificación de productos	36
4.3.2.	Desplazamiento vertical de la cesta de compras	40
4.4.	Subsistema de navegación.....	40
4.5.	Subsistema mecánico.....	43
4.5.1.	Diseño mecánico del subsistema de carga de peso	43
4.5.2.	Análisis de resistencia del subsistema de soporte de carga.....	46
4.5.3.	Mecanismo de modificación de cesta de compras	47
4.5.4.	Disposición de ruedas del carro de compras	49
4.5.5.	Elevación y descenso de la cesta de compras	50
4.5.6.	Enganche a sillas de ruedas.....	57
4.6.	Subsistema de energía	57

4.6.1.	Cálculos energéticos y selección de componentes	57
4.6.2.	Alimentación y conexiones del sistema integral	60
4.7.	Sistema integral	63
4.8.	Planos mecánicos y electrónicos	64
5.	CAPÍTULO V: DISEÑO DE SOFTWARE.....	65
5.1.	Arquitectura del sistema.....	65
5.2.	Diseño de software y tecnologías implementadas	66
5.3.	Subsistema de interacción.....	67
5.3.1.	Interfaz de usuario.....	67
5.3.2.	Captura de la voz del usuario	68
5.3.3.	Procesamiento de respuesta al usuario	69
5.3.4.	Generación de respuestas audibles	72
5.4.	Subsistema de navegación.....	73
5.4.1.	Planificación de rutas	73
5.5.	Subsistema de compra de productos.....	77
5.5.1.	Identificación de productos	77
5.5.2.	Decodificación de códigos de barras.....	83
5.6.	Integración de software.....	88
6.	CAPÍTULO V: PRESUPUESTO	91
6.1.	Costo de fabricación.....	91
6.1.1.	Costo de componentes mecánicos.....	91
6.1.2.	Costo de componentes electrónicos	92
6.1.3.	Costo total de fabricación	92
6.2.	Costo de software.....	92
6.2.1.	Costo del modelo de lenguaje	93
6.2.2.	Costo de la API de voz.....	93
6.2.3.	Costo total de software.....	93
	CONCLUSIONES	94
	RECOMENDACIONES Y TRABAJO A FUTURO.....	95
	BIBLIOGRAFÍA	96
	ANEXOS	101
	ANEXO A: Lista de requerimientos	101
	ANEXO B: Estructura de funciones	104
B.1	Dominio Energía	104
B.2	Dominio Mecánico	104
B.3	Dominio Sensores.....	105
B.4	Dominio Procesamiento y control	106

B.5 Dominio Actuadores.....	107
B.6 Dominio Interfaz	108
B.7 Dominio Comunicación.....	108
ANEXO C: Matriz morfológica.....	109
Subsistema de compra de productos	109
Subsistema de interacción humano-robot	110
Subsistema de navegación.....	112
Subsistema de energía.....	113
Subsistema mecánico	113
ANEXO D: Conceptos de solución	115
Concepto de solución 1	115
Concepto de solución 2	117
Concepto de solución 3	118
ANEXO E: Evaluación técnica-económica.....	120
Criterios técnicos.....	120
Criterios económicos.....	124
ANEXO F: Base de datos de pruebas.....	127
ANEXO G: Reconocimiento de códigos de barra con librerías comerciales.....	129
ANEXO H: Pruebas de lectura de códigos de barra	136
ANEXO I: Coordenadas de llegada de usuario dentro del mapa de la tienda.....	138
ANEXO J: Datasheets	140
J.1. Nucleo STM32F446RE	140
J.2. Jetson Xavier NX.....	141
J.3. Micrófono MX395.....	142
J.4. Pantalla Punto Cuántico QLED 10,1pulg.....	143
J.5. Pi Camara Module 3	144
J.6. Escáner fijo FM430 Barracuda.....	146
J.7. Sensor de distancia TOF VL53L1X	148
J.8. Sensor de ultrasonido HC-SR04.....	149
J.9. Brushless DC gear Motor with driver kits.....	150
J.10. Li-ion 20000 5S4P 18v Battery Pack	151
ANEXO K: Planos mecánicos.....	1
ANEXO L: Plano electrónico.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Comparación de características de sistemas integrales	9
Tabla 2.2 Comparación de características de sistemas de interacción humano-robot	13
Tabla 2.3 Comparación de características de sistemas mecánicos.....	15
Tabla 2.4 Comparación de características de sistema de elevación.....	18
Tabla 3.1 Matriz morfológica de los conceptos de solución.....	23
Tabla 4.1 Tabla comparativa microcontroladores.....	31
Tabla 4.2 Tabla comparativa de procesadores	32
Tabla 4.3 Tabla comparativa micrófonos dinámicos	32
Tabla 4.4 Tabla comparativa de pantallas táctiles	33
Tabla 4.5 Tabla comparativa de altavoces.....	35
Tabla 4.6 Tabla comparativa de cámaras	36
Tabla 4.7 Tabla comparativa de módulos adaptadores multicámara	37
Tabla 4.8 Tabla comparativa de sensores de peso	38
Tabla 4.9 Tabla de detalles técnicos del módulo HX711.....	38
Tabla 4.10 Tabla comparativa de lectores de código de barras	39
Tabla 4.11 Tabla comparativa de sensores de distancia	40
Tabla 4.12 Tabla comparativa de sensores de final de carrera	40
Tabla 4.13 Tabla comparativa dispositivos UWB	41
Tabla 4.14 Tabla comparativa de sensores de ultrasonido.....	42
Tabla 4.15 Tabla comparativa de materiales para fabricación de la cesta	43
Tabla 4.16 Tabla comparativa de motores	55
Tabla 4.17 Tabla comparativa de baterías	58
Tabla 4.18 Tabla comparativa de sistemas de gestión de baterías	58
Tabla 4.19 Tabla comparativa de relés	59
Tabla 4.20 Tabla comparativa de convertidores de voltaje.....	59
Tabla 4.21 Tabla comparativa de sensores de voltaje.....	60
Tabla 4.22 Listado de planos mecánicos	64
Tabla 5.1 Tabla comparativa de APIs de reconocimiento de voz.....	68
Tabla 5.2 Tabla comparativa de modelos de lenguaje	69
Tabla 5.3 Tabla comparativa de APIs de texto a voz.....	72
Tabla 5.4 Tabla comparativa de redes neuronales	78
Tabla 5.5 Dataset con data augmentation	85
Tabla 5.6 Tabla comparativa de reconocimiento de códigos de barras – Experimento 1	87
Tabla 5.7 Tabla comparativa de reconocimiento de códigos de barras – Experimento 2	88
Tabla 6.1 Costo de componentes mecánicos	91

Tabla 6.2 Costo de componentes electrónicos	92
Tabla 6.3 Costo unitario de fabricación	92
Tabla 6.4 Resumen de costos estimados.....	93
Tabla E.1 Evaluación técnica de los conceptos de solución	125
Tabla E.2 Evaluación económica de los conceptos de solución	126
Tabla G.1 Tabla de análisis de decodificación con OpenCV Barcode Detector.....	129
Tabla G.2 Tabla de análisis de decodificación con PyZbar	132
Tabla H.1 Tabla comparativa de redes	136



ÍNDICE DE FIGURAS

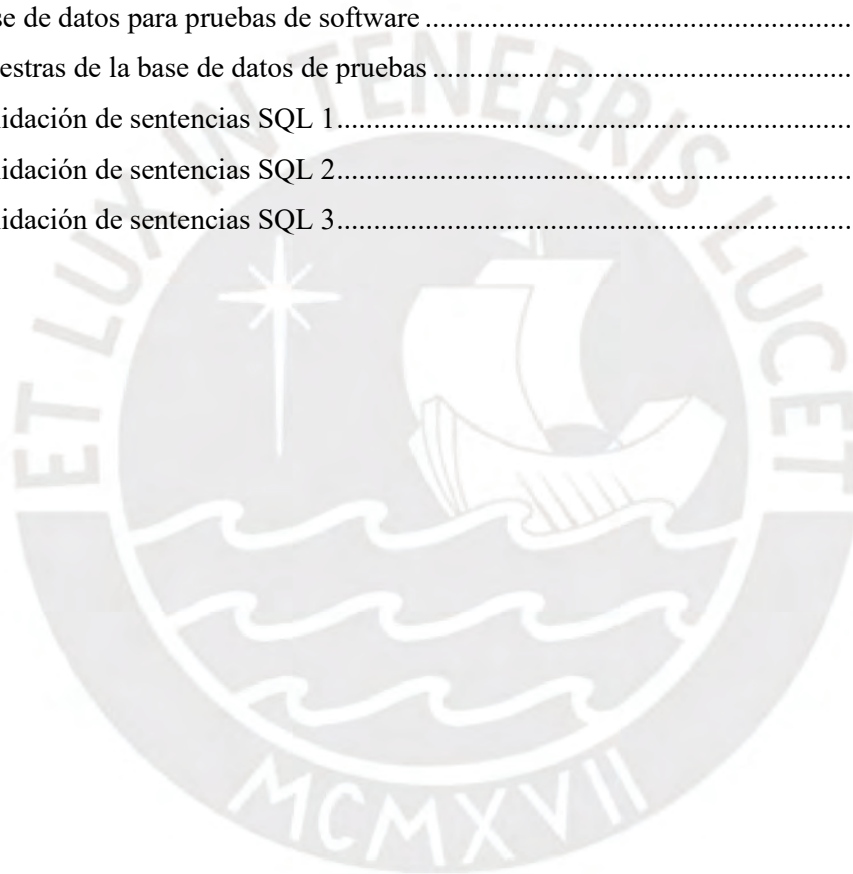
Figura 1.1 Perú: población censada según el tipo de discapacidad	2
Figura 2.1 Dash Cart	7
Figura 2.2 Caper Cart 3.....	7
Figura 2.3 Carro “Líder al carro”	8
Figura 2.4 Carro de la compra inteligente	8
Figura 2.5 Modelo del carro DaiVi.....	9
Figura 2.6 Niveles de fusión multimodal.....	10
Figura 2.7 Flujo de ejecución de un comando	11
Figura 2.8 Software GUI	11
Figura 2.9 Selección de punto final por parte del usuario.....	12
Figura 2.10 Arquitectura del carro de compras inteligente.....	12
Figura 2.11 Carro de compras de 210 kg con medidas en mm.....	13
Figura 2.12 Carro de compras de 85 kg.....	13
Figura 2.13 Carro de compras para usuarios con silla de ruedas	14
Figura 2.14 Comparación entre modelos para sillas de ruedas.....	14
Figura 2.15 Persona mayor haciendo uso del asiento del carro de compras.....	14
Figura 2.16 Características del carro de compra para personas adultas.....	15
Figura 2.17 Mecanismo tijera accionamiento electrohidráulico	16
Figura 2.18 Mecanismo tijera accionamiento electrohidráulico.....	16
Figura 2.19 Mesa graduable neumáticamente.....	17
Figura 2.20 Escritorio graduable accionado eléctricamente	17
Figura 2.21 Escritorio con manilla regulable.....	17
Figura 3.1 Diagrama Black Box	21
Figura 3.2 Estructura de funciones	22
Figura 3.3 Diagrama de flujo general del sistema.....	26
Figura 3.4 Diagrama de flujo de la función Inicializar_sistema	27
Figura 3.5 Diagrama de flujo de la función Añadir_productos	27
Figura 3.6 Diagrama de flujo de la función Activar_discapacidad_visual	27
Figura 3.7 Diagrama de flujo de la función Identificar_mensaje.....	28
Figura 3.8 Diagrama de flujo de la función Formular_respuesta	28
Figura 3.9 Diagrama de flujo de la función Elevar/descender_cesta.....	28
Figura 3.10 Diagrama de flujo de la función Pagar_productos.....	29
Figura 3.11 Diagrama de operaciones.....	29
Figura 3.12 Diagrama de bloques	30
Figura 4.2.1 Ángulos de flexión e inclinación al utilizar una pantalla.....	33

Figura 4.2.2 Diagrama de posición corporal al visualizar la pantalla.....	34
Figura 4.2.3 Dimensiones según la inclinación de la pantalla.....	34
Figura 4.2.4 Campos de visión y ángulos de rotación del ser humano.....	34
Figura 4.2.5 Campo de visión del usuario para observar la pantalla.....	35
Figura 4.2.6 Geometría del campo de visión del usuario para observar la pantalla.....	35
Figura 4.2.7 Diagrama de conexiones del subsistema de interacción.....	36
Figura 4.3.1 Campo de visión de las cámaras en el borde de la cesta.....	37
Figura 4.3.2 Diagrama de la base de la cesta de compras.....	39
Figura 4.3.3 Ubicación de los sensores de peso en el ensamble general.....	39
Figura 4.3.4 Diagrama conexiones entre celdas de carga y módulo HX711.....	39
Figura 4.4.1 Integración de dispositivos para localización UWB.....	41
Figura 4.4.2 Eficiencia de medida de acuerdo con el ángulo HC-SR04.....	42
Figura 4.4.3 Distribución lineal de sensores de ultrasonido.....	42
Figura 4.4.4 Distribución con giro de sensores de ultrasonido.....	43
Figura 4.5.1 Diagrama de cuerpo libre de la base de la cesta.....	44
Figura 4.5.2 Diagrama de cuerpo libre de la base en el plano XY.....	44
Figura 4.5.3 Subsistema que soporta el peso de las compras.....	45
Figura 4.5.4 Diagrama de deformación debido al peso.....	45
Figura 4.5.5 Diagrama de esfuerzos debido al peso.....	45
Figura 4.5.6 Análisis del factor de seguridad.....	46
Figura 4.5.7 Análisis de la deformación del tornillo sin fin.....	46
Figura 4.5.8 Análisis del factor de seguridad del tornillo sin fin.....	46
Figura 4.5.9 Mecanismo elevador de tijera.....	47
Figura 4.5.10 Dimensiones mecanismo elevador de tijera.....	47
Figura 4.5.11 Partes de un ball plunger.....	48
Figura 4.5.12 Cálculo de desenganche émbolo de bola.....	48
Figura 4.5.13 Proyecciones del émbolo de bola.....	49
Figura 4.5.14 Selección de émbolo de bola comercial.....	49
Figura 4.5.15 Disposición de ruedas en la base del carro.....	49
Figura 4.5.16 Giro con menor diámetro.....	50
Figura 4.5.17 Extracto de módulos y pasos unificados norma ISO 4156.....	51
Figura 4.5.18 Análisis de torque en tornillo sin fin.....	51
Figura 4.5.19 Diagrama de cuerpo libre de flancos del tornillo sin fin.....	51
Figura 4.5.20 Especificaciones de tornillos sin fin.....	53
Figura 4.5.21 Sección de catálogo de screw gears.....	54
Figura 4.5.22 Sistema de elevación.....	55
Figura 4.5.23 Pieza de sujeción entre cesta y sistema de elevación.....	56

Figura 4.5.24 Estructura de Sistema de elevación	56
Figura 4.5.25 Vista isométrica - Carcasa del sistema de elevación	56
Figura 4.5.26 Vista en sección - Carcasa del sistema de elevación	56
Figura 4.5.27 Acople a silla de ruedas	57
Figura 4.5.28 Montaje de acoples de silla de ruedas en el carro de compras	57
Figura 4.6.1 Cálculos de potencia.....	57
Figura 4.6.2 Diagrama de conexiones.....	60
Figura 4.6.3 Conexión de pines del adaptador a y la Raspberry	61
Figura 4.6.4 Configuración de pines.....	61
Figura 4.6.5 Pines de Jetson Xavier NX	61
Figura 4.6.6 Diagrama esquemático de shield de Jetson Xavier NX.....	62
Figura 4.6.7 Board de shield y shield para Jetson Xavier NX	62
Figura 4.6.8. Diagrama esquemático de shield del microcontrolador.....	62
Figura 4.6.9 Board de shield para el microcontrolador	63
Figura 4.7.1 Sistema utilizado por usuarios	63
Figura 4.7.2 Partes del sistema integrado	63
Figura 4.7.3 Visualización de componentes internos a la carcasa	64
Figura 5.1.1 Arquitectura del sistema	66
Figura 5.3.1 Pestaña de Lista de Compras y pestaña de Productos en la interfaz.....	67
Figura 5.3.2 Pestaña de Guía y pestaña de Promociones en la interfaz	68
Figura 5.3.3 Pestaña de Ayuda en la interfaz.....	68
Figura 5.3.4 Flujo prompting	70
Figura 5.3.5 Ejemplo 1 de prompting con información de la Base de Datos	71
Figura 5.3.6 Ejemplo 2 de prompting con información de la Base de Datos.....	71
Figura 5.3.7 Ejemplo 3 de prompting con información de la Base de Datos.....	72
Figura 5.3.8 Ejemplo 4 de prompting con información de la Base de Datos.....	72
Figura 5.4.1 Nodos candidatos a siguiente posición.....	73
Figura 5.4.2 Mapa del supermercado.....	73
Figura 5.4.3 Cuadrícula de mapa del supermercado y ruta óptima.....	73
Figura 5.4.5 Mapa de supermercado para pruebas de software	74
Figura 5.4.6 Binarización de mapa de supermercado para pruebas de software	75
Figura 5.4.7 Prueba inicial de generación de rutas	76
Figura 5.4.8 Prueba con algoritmo final de planificación de rutas	76
Figura 5.4.9 Interfaz para pruebas de planificación de rutas	76
Figura 5.4.10 Prueba de generación de rutas	77
Figura 5.5.1 Muestras del dataset de entrenamiento con máscara de segmentación	78
Figura 5.5.2 Curvas de precisión y pérdida del modelo con DeepLabV3	78

Figura 5.5.3 Test de red entrenada con DeepLabV3.....	79
Figura 5.5.4 Geometría del campo de visión del usuario para observar la pantalla	79
Figura 5.5.5 Comparación de YOLOv8 con sus predecesores	79
Figura 5.5.6 Labeling del dataset propio.....	80
Figura 5.5.7 Curvas de precisión y recall del modelo entrenado con YOLOv8	80
Figura 5.5.8 Ejemplo de rotación correcta del código de barras.....	80
Figura 5.5.9 Ejemplo de rotación aceptable del código de barras.....	80
Figura 5.5.10 Ejemplos de rotación errónea del código de barras	81
Figura 5.5.11 Etiquetado de dataset – Producto rígido con código inclinado.....	81
Figura 5.5.12 Etiquetado de dataset – Producto rígido con código con forma personalizada	81
Figura 5.5.13 Etiquetado de dataset – Producto rígido con código invertido verticalmente	81
Figura 5.5.14 Transformación de labels para YOLOv8 OBB	82
Figura 5.5.15 Resultados del entrenamiento de YOLOv8 OBB	82
Figura 5.5.16 Curvas de precisión y recall del entrenamiento de YOLOv8 OBB	82
Figura 5.5.17 Pruebas con la red de YOLOv8 OBB entrenada	82
Figura 5.5.18 Ejemplo de reconocimiento con OpenCV Barcode Detector	83
Figura 5.5.19 Ejemplo de reconocimiento con Pyzbar	83
Figura 5.5.20 Ejemplos del dataset para la CNN propia.....	84
Figura 5.5.21 Imágenes del dataset tomadas en variedad de condiciones	84
Figura 5.5.22 Dataset aumentado.....	85
Figura 5.5.23 Arquitectura de red propia.....	86
Figura 5.5.24 Pruebas de reconocimiento con CNN propia.....	86
Figura 5.5.25 Identificación y reconocimiento de códigos de barras del sistema.....	87
Figura 5.5.26 Reconocimiento de productos según su velocidad de caída.....	88
Figura 5.6.1 Pruebas de reconocimiento de productos	88
Figura 5.6.2 Simulación de ingreso de productos.....	89
Figura 5.6.3 Búsqueda de información de productos.....	90
Figura 5.6.4 Guía y localización en el local.....	90
Figura 5.6.5 Búsqueda de promociones	90
Figura 5.6.6 Asistencia dentro del local.....	90
Figura B.1 Dominio Energía.....	104
Figura B.2 Dominio Mecánico.....	104
Figura B.3 Dominio Sensores	105
Figura B.4 Dominio Procesamiento y control	106
Figura B.5 Dominio Actuadores	107
Figura B.6 Dominio Interfaz	108
Figura B.7 Dominio Comunicación.....	108

Figura D.1 Concepto de solución 1.....	116
Figura D.2 Localización por Wi-Fi del concepto de solución 1	116
Figura D.3 Concepto 1 adaptado a personas con sillas de ruedas.....	116
Figura D.4 Concepto de solución 2.....	117
Figura D.5 Localización por Wi-Fi del concepto de solución 2	118
Figura D.6 Concepto 2 adaptado a personas con sillas de ruedas.....	118
Figura C.7 Concepto de solución 3.....	119
Figura C.8 Localización por UWB del concepto de solución 3.....	119
Figura C.9 Concepto 3 adaptado a personas con sillas de ruedas.....	120
Figura E.1. Concepto 3 adaptado a personas con sillas de ruedas	126
Figura F.1 Base de datos para pruebas de software	127
Figura F.2 Muestras de la base de datos de pruebas	127
Figura F.3 Validación de sentencias SQL 1.....	128
Figura F.4 Validación de sentencias SQL 2.....	128
Figura F.5 Validación de sentencias SQL 3.....	128



LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

Acrónimo / Abreviatura	Significado
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones (Application Programming Interface)
BMS	Sistema de Gestión de Baterías (Battery Management System)
CNN	Red Neuronal Convolucional (Convolutional Neural Network)
FEA	Análisis por Elementos Finitos (Finite Element Analysis)
GPU	Unidad de Procesamiento Gráfico (Graphics Processing Unit)
HDPE	Polietileno de Alta Densidad (High-Density Polyethylene)
HRI	Interacción Humano-Robot (Human-Robot Interaction)
HTTP	Protocolo de Transferencia de Hipertexto (Hypertext Transfer Protocol)
IA	Inteligencia Artificial
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
OBB	Cuadro Delimitador Orientado (Oriented Bounding Box)
OCR	Reconocimiento Óptico de Caracteres (Optical Character Recognition)
PCB	Placa de Circuito Impreso (Printed Circuit Board)
POS	Punto de Venta (Point of Sale)
RFID	Identificación por Radiofrecuencia (Radio-Frequency Identification)
RPM	Revoluciones por Minuto (Revolutions Per Minute)
TTS	Conversión de Texto a Voz (Text to Speech)
UWB	Banda Ultraancha (Ultra-Wideband)
YOLO	You Only Look Once (Algoritmo de detección de objetos)

1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1. Introducción

Los supermercados en el Perú cumplen un rol fundamental en la sociedad y economía del país, pues ofrecen bienes de consumo indispensables para la población como alimentos, productos de limpieza y vestimenta. En el país, el mayor volumen de ventas de los supermercados lo tiene el sector de alimentos y bebidas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022). Es imprescindible para los supermercados comprender las necesidades de los consumidores y su comportamiento de compra para poder establecer políticas e implementar herramientas que permitan satisfacerlos. Además, es importante tener en cuenta que el comportamiento de compra de los consumidores está en constante cambio, por lo que es necesario que estos establecimientos tengan la capacidad de adaptarse rápidamente a estos (Pasamón, 2020).

Debido al confinamiento y aislamiento social por la pandemia de COVID-19, el sector *retail*, dentro del cual se encuentran los supermercados, tuvo que impulsar su transformación digital para poder conectar con los consumidores. Esta transformación, en conjunto con las restricciones de movilidad y aislamiento impuestas para prevenir la propagación del virus, generaron una adopción masiva del comercio electrónico por parte de los ciudadanos en el país (Mercado Negro, 2021). A raíz de ello, se produjo un cambio significativo en el comportamiento de compra de los consumidores, quienes pasaron de un rol pasivo a demandar autenticidad, novedad, conveniencia y creatividad en su experiencia de compra (Pasamón, 2020). En este nuevo escenario, en el cual el comercio electrónico ya es parte de la vida de los peruanos, se debe encontrar la sinergia entre este y la compra en la tienda física, pues el objetivo es brindar una experiencia única al cliente independientemente del medio utilizado para realizar la compra. No se trata de una competencia entre *offline* u *online*, sino de fidelizar al consumidor y brindarle acompañamiento durante toda su experiencia de compra (Pasamón, 2021). Esta sinergia es crucial en el país, pues si bien ha existido un gran crecimiento del comercio electrónico, existe un gran volumen de peruanos que prefiere las compras en tiendas físicas o utiliza el medio *online* para informarse y luego realizar las compras en el local, por lo que ambos canales deben estar disponibles para el cliente. En especial en el sector alimenticio, pues según un reporte realizado por la consultora Arellano, el 90% de peruanos prefiere comprar sus alimentos de manera presencial en el local (Arellano Consultoría, 2021). Por ello, los supermercados deben adaptarse a este nuevo comportamiento de compra y a las necesidades de la población, así como comenzar a utilizar la tecnología como su aliada para la transformación e inclusión social.

1.2. Problemática

En el Perú, los supermercados enfrentan 3 barreras importantes, que son accesibilidad, inmediatez y atención personalizada al cliente (Ministerio de Relaciones Exteriores, 2022), las cuales deben de superar para mantenerse vigentes en el mercado y fidelizar a sus actuales y futuros clientes.

En primer lugar, la accesibilidad debe ser un pilar fundamental en nuestra sociedad, pues de acuerdo con el Censo Nacional del 2017, existen 3 209 261 personas con discapacidad, lo cual representa el 10.3% del total de la población, en donde las personas mayores a 60 años representan el mayor volumen de esta población con un 40.5%. A partir de este informe, se conoce que la discapacidad que predomina en el país es la discapacidad visual, la cual afecta al 48.3% del total de población con discapacidad como se puede observar en la Figura 1.1. (INEI, 2018). Por ello, ha cobrado gran relevancia la importancia de hacer los lugares públicos accesibles para personas con discapacidad para poder satisfacer las necesidades de todas las personas por igual (Yilmaz, 2018). Sin embargo, actualmente las personas con discapacidad en el país encuentran distintas barreras para desenvolverse autónomamente en distintos lugares públicos como los supermercados debido a la infraestructura, estereotipos y barreras de comunicación (Inclulab & Ciudades Cómo Vamos, 2021). Un estudio realizado en Irlanda evidenció que el 95% de las personas con discapacidad visual experimentaban dificultades para leer el etiquetado de los productos en los supermercados y al 96% se le dificultaba ubicar los productos en los pasillos, por lo que dependían de alguna persona para encontrar los artículos que buscaban (Khattab et al., 2015). Los supermercados deben de implementar herramientas que les permitan brindar un servicio de calidad a todas las personas y permitirles un desenvolvimiento independiente dentro del establecimiento.

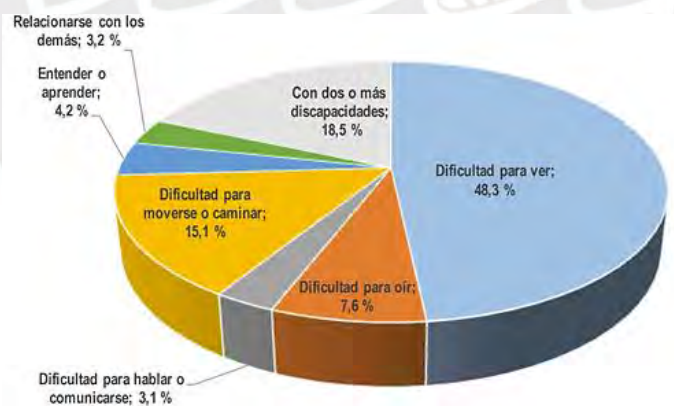


Figura 1.1 Perú: población censada según el tipo de discapacidad (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018)

En segundo lugar, la inmediatez en los supermercados, la cual hace referencia a el tiempo de espera en las colas de compra es un reto con el que han lidiado desde hace ya varios años, pues afecta directamente la satisfacción del cliente y a los ingresos de la empresa. Según un estudio de American Customer Satisfaction Index (ACSI), clientes que esperan un largo tiempo en cola están 18% menos satisfechos con la experiencia, son menos propensos a regresar al establecimiento y cuentan a otros su mala experiencia, por lo que el nombre del supermercado se ve afectado negativamente (NEMO-Q, 2022).

Asimismo, la espera en colas ha generado grandes pérdidas en el sector *retail*, debido al abandono de compra debido al largo tiempo de espera. De acuerdo con un informe realizado por Zippin, en este tiempo de post-pandemia, es menos probable que un cliente espere un largo tiempo en las colas. Por ello, desde la reactivación de las actividades económicas, se han perdido 555 millones de dólares en el sector *retail* por el abandono de compras por largas filas (Libby Spicer & Zippin, 2023). Es necesario que los supermercados tomen acciones y busquen herramientas que les permitan reducir el tiempo de espera para el pago de compras para evitar pérdidas económicas y mejorar la satisfacción de los clientes, lo cual a su vez influirá en su lealtad y elevará el retorno de estos al local.

Finalmente, la atención personalizada se ha convertido en un factor indispensable dentro de las tiendas del sector *retail*, pues los consumidores ahora son mucho más exigentes durante su experiencia de compra (Cámara Peruana de Comercio Electrónico, 2021). Además, una de las demandas de los clientes que más resalta en las encuestas e investigaciones es la necesidad de tener una experiencia de compra única y personalizada en las tiendas físicas. Se debe de convertir el tiempo dentro del local en un espacio donde el cliente explore los productos y cuente con servicios personalizados. En especial, en el sector alimenticio en otros países, la incorporación de tecnologías emergentes dentro de la tienda física ha mejorado la experiencia de compra para los clientes (Pasamón, 2021).

En base a las tres barreras previamente mencionadas (accesibilidad, inmediatez y atención personalizada), se evidencia la necesidad de los supermercados peruanos de implementar soluciones eficientes y accesibles a todas las personas, pues en el país actualmente no se cuentan con tecnologías o herramientas para personas necesidades especiales dentro de los supermercados. De manera global, la gran mayoría de carros inteligentes desarrollados e implementados en supermercados garantizan una mejor experiencia de compra a personas sin ningún tipo de discapacidad; sin embargo, no se enfocan en la accesibilidad del producto. Esto ocasiona que al sector de la población con alguna discapacidad se le dificulte la compra al no contar con herramientas durante su experiencia.

1.3. Propuesta de solución

En el presente trabajo, se propone el diseño de un carro de compras inteligente para supermercados peruanos, con el objetivo de satisfacer las necesidades del consumidor en el periodo post pandemia e impulse la transformación digital dentro de estos establecimientos en el contexto del sector *retail*. Por estos motivos, el carro de compras permitirá brindar asistencia personalizada durante todo el proceso de compra y reducirá el tiempo de espera en colas al agilizar el proceso de pago. Además, el dispositivo se adaptará para garantizar el acceso universal a distintos tipos de usuario como son las personas con discapacidad auditiva, visual parcial o motora (silla de ruedas).

1.4. Objetivos del proyecto

1.4.1. Objetivo general

El presente trabajo de tesis tiene como objetivo realizar el diseño integral de un carro de compras inteligente para los supermercados en el Perú mediante la integración de tecnologías de inteligencia artificial y automatización. El sistema debe brindar una experiencia de compra personalizada mediante asistencia visual y por voz, escanear productos automáticamente con alta precisión al ingresarlos en el carro y permitir el pago en el mismo al finalizar la compra. Además, debe garantizar la accesibilidad al adaptarse a las necesidades de personas con discapacidades auditivas, visuales y motrices, proporcionando herramientas que les permitan una compra independiente.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión del estado del arte relacionado a tecnologías de asistencia de compras en supermercados.
- Realizar un diseño conceptual de un carro de compras inteligente y adaptable a las necesidades de las personas con discapacidad auditiva, visual parcial y motora con sillas de ruedas.
- Realizar el diseño mecánico del sistema utilizando cálculos que garanticen su correcto funcionamiento de acuerdo con los requerimientos establecidos y asegurando que cumpla con los estándares de ergonomía y funcionalidad.
- Realizar el diseño electrónico del sistema utilizando cálculos de tal manera que permita el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos de acuerdo con los requerimientos del sistema.
- Diseñar estrategias de control que garanticen el adecuado funcionamiento y una configuración sencilla e intuitiva del sistema permitiendo una interacción fluida por parte de los usuarios, independientemente de sus capacidades físicas.
- Implementar algoritmos de planificación de rutas para la guía a productos dentro del supermercado con localización de obstáculos.
- Desarrollar algoritmos de IA que permitan detectar y decodificar códigos de barra de productos para el reconocimiento cuando ingresan al carro de compras.
- Diseñar una interfaz de interacción humano-robot que permita establecer una comunicación bidireccional adecuada con los clientes de manera visual y auditiva.
- Determinar los costos de fabricación del carro de compras inteligente considerando la viabilidad comercial de su implementación en supermercados peruanos.

1.5. Alcance

El presente trabajo abarca el diseño integral de un carro de compras inteligente para supermercados en Perú cuyos pasillos cumplan con el Reglamento Nacional de Edificación. Este establece que el ancho mínimo de los pasillos en locales comerciales debe ser de 1.20 metros (Resolución Ministerial N° 061-2021-VIVIENDA, 2021), debido a que esto permitirá el paso del carro sin inconvenientes dentro del local y garantizará que, si se presenta alguna emergencia dentro del supermercado, los carros no sean un impedimento para la evacuación del local. El carro de compras propuesto debe poder ser utilizado por personas sin ningún tipo de discapacidad y por personas con enanismo, discapacidad auditiva, discapacidad visual parcial y personas con discapacidad motriz que utilicen una silla de ruedas para desplazarse. Además, el carro de compras podrá soportar un peso acorde con los modelos tradicionales del mercado, los cuales soportan más de 40 kg (Tymbia, s.f.). El presente trabajo comprende el diseño integral, no se realizará la implementación en esta etapa.

1.6. Metodología

En el desarrollo del presente proyecto se utiliza una metodología basada en las normas VDI 2206 y VDI 2221, las cuales permiten el diseño de un sistema mecatrónico a través de un enfoque metodológico y sistemático (Jänsch & Birkhofer, 2006) que garantice la flexibilidad y adaptabilidad a las necesidades de diseño de cada proyecto. En base a estas normas, para el diseño del carro de compras inteligente se seguirán los procedimientos detallados a continuación. En primer lugar, se realizará un análisis del entorno y contexto actual que permitan identificar la problemática y el impacto que tiene esta sobre los individuos afectados (Gausemeier & Moehringer, 2003), en este caso, los clientes de los supermercados. A continuación, se definen las tareas a realizar para el diseño del carro de compras y las características que debe de poseer para plasmarlos en una lista de requerimientos,

Como siguiente paso, a partir de la lista de requerimientos se definen las funciones con las cuales debe de contar el sistema para satisfacer estos requerimientos (Jänsch & Birkhofer, 2006). Asimismo, se definen los dominios que se encontrarán presentes en el diseño para poder realizar una estructura de funciones, en la cual se clasifiquen las funciones en cada dominio y se relacionen entre sí.

Posteriormente se identifican tecnologías que permitan satisfacer cada una de las funciones (Jänsch & Birkhofer, 2006) y se plasman en una matriz morfológica, se propone más de una alternativa por cada función. Una vez que ya se cuenta con esta matriz, se realizarán propuestas de solución para el diseño del carro de compras, esto se logra al combinar varias de las tecnologías en una idea que pueda dar solución al problema y cumplir los requerimientos.

Con el objetivo de identificar el concepto de solución óptimo, se realiza una evaluación técnico-económica, la cual puntúa a cada concepto de acuerdo con el grado de cumplimiento de los

requerimientos y la inversión económica que cada uno de ellos representaría. A partir de este análisis, se selecciona el concepto de solución a ser utilizado en el diseño del carro de compras inteligente.

El diseño mecatrónico se organiza en subsistemas para mostrar de manera adecuada la integración de cada parte del carro de compras inteligente. En inicio, se realiza el análisis de fuerzas e influencia factores externos para realizar el diseño mecánico de los componentes y mecanismos. Seguido de ello, se realiza la selección de componentes del sistema y se realizan los cálculos de potencia para seleccionar la batería y el motor para elevar y descender la cesta de compras. Una vez seleccionados los componentes, se procede con el diseño de la placa de circuito impreso sobre la cual se instalarán. Con la información obtenida, se realiza el modelo 3D del carro de compras inteligente en el cual se integran los modelos de los componentes mecánicos y electrónicos. Posteriormente, se evalúan las dimensiones de los componentes y distribución de estos a partir de simulaciones para validarlos o realizar cambios que permitan mejorar el hardware. En paralelo, se desarrolla la arquitectura de software, definiendo la estructura del sistema, los módulos principales y sus interacciones. Esta fase incluye el diseño de los algoritmos de generación de voz a texto y texto a voz, las redes para el reconocimiento de productos, la conexión con la base de datos del supermercado, los mecanismos de localización y guía dentro del local, y la configuración de los sensores. Una vez establecida la arquitectura, se inicia la fase de implementación y pruebas de software, resolviendo inconvenientes e iterando mejoras. Finalmente, se integran todos los subsistemas para conformar el sistema integral, en el cual se realizan simulaciones y pruebas continuas para analizar su funcionamiento y detectar oportunidades de optimización.

2. CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se realizará una revisión y un análisis del estado del arte actual de los carros de compras inteligentes y de los subsistemas que lo conforman. Esto permitirá identificar las tecnologías actuales que son utilizadas para este tipo de productos, las fortalezas de cada una de ellas y las oportunidades de mejora en cada caso. A partir de este análisis, se identifican los requerimientos del sistema y las consideraciones técnicas, económicas y ergonómicas a tener en cuenta durante la etapa de diseño. En primer lugar, se revisará el estado del arte del sistema general, el cual involucra los carros de compras inteligentes diseñados para supermercados y posteriormente se hará una revisión de los subsistemas definidos, los cuales involucran tecnologías utilizadas por personas con discapacidad en supermercados, interacción humano-robot, algoritmos de reconocimiento de voz y cobro automático.

2.1. Sistemas integrales

En esta sección, se muestra el estado del arte de los sistemas integrales del proyecto, los cuales hacen referencia a carros de compra inteligentes diseñados o implementados en supermercados.

2.1.1. Amazon Dash Cart

Es un carro de compras inteligente para las tiendas de Amazon Fresh que acelera el proceso de compra al omitir la línea de pago (Figura 2.1). Para iniciar la compra, se escanea un código QR para iniciar sesión dentro de la cuenta de Amazon del usuario y luego se utilizan un conjunto de algoritmos de visión por computadora y sensores que le permiten identificar los artículos que son colocados dentro del carro, la lista de los objetos escaneados se muestra en una pantalla y en ella también se muestran productos u ofertas. Una vez que la persona sale de la tienda, el pago se procesa automáticamente en la cuenta de Amazon del usuario y se le envía el comprobante a su correo electrónico (Amazon, s.f.).



Figura 2.1 Dash Cart (Amazon, s.f.)

2.1.2. Caper Cart

Es un carro de compras inteligente en su tercera generación de diseño. El primer modelo permitió evitar filas al incluir el pago dentro del carrito. En esta fase el cliente debía de escanear manualmente el código QR de cada artículo. El segundo modelo de carro trajo consigo el escaneo automático de las compras, por lo que los clientes podían comprar de forma natural. El tercer modelo es más ligero y grande como se muestra en la Figura 2.2, además cuenta con mejor ergonomía y puede ser empleado en cualquier clima. (Caper, s.f.). El carro cuenta con 3 cámaras de alta resolución para el reconocimiento de imágenes, su batería dura 10 horas operativas y puede ser cargado mientras se encuentra apilado con los otros carros a través de un cargador portátil. Su voltaje de trabajo es de 12 voltios y para su carga el voltaje debe ser de 15 a 40 voltios (Caper, s.f.).



Figura 2.2 Caper Cart 3 (Caper, s.f.-a)

2.1.3. “Líder al carro”

Walmart Chile desarrolló un carro de compras inteligente denominado “Líder al carro”, el cual reconoce automáticamente los productos que son ingresados a través de cámaras incorporadas en el dispositivo, y los muestra en pantalla como se observa en la Figura 2.3. Además, en caso de productos que requieren ser pesados como frutas o verduras, el cliente cuenta con la opción de escanear el código de barras del producto para que se incorpore este a la lista. De esta manera, cuando el cliente llega a la caja de pago, este solo realiza el pago haciendo uso de un código de barras.



Figura 2.3 Carro “Líder al carro” (Walmart Chile, s.f.)

2.1.4. El carro de la compra inteligente

Los investigadores de la Universidad de Salamanca desarrollaron un carro inteligente para personas con discapacidad motriz. Este vehículo es autónomo, una vez que identifica al usuario lo seguirá a través de la tienda (Figura 2.4). Para iniciar la sincronización, el usuario debe de levantar los brazos frente al carro o utilizar comandos de voz. El carro de compras también ofrece información o consejos de nutrición sobre los productos. Además, se cuenta con una aplicación en la cual se puede subir la lista de compras y una vez en la tienda enviársela al carro. Entre las tecnologías empleadas se encuentran el reconocimiento de imágenes para seguir al usuario por la tienda, sensores RFID para identificar a los productos y bluetooth para navegación pues en el supermercado se encuentran distribuidas balizas bluetooth (Fundación General de la Universidad de Salamanca, 2018).



Figura 2.4 Carro de la compra inteligente (Fundación General de la Universidad de Salamanca, 2018)

2.1.5. DAiVi

La empresa Trackpoint desarrolló un carro inteligente denominado DaiVi (Digital Artificial Intelligence Vision), el cual permite utilizar la inteligencia artificial, publicidad, integración con el back-office de la tienda y pago en línea para mejorar la experiencia de compra de los clientes. El vehículo detecta, rastrea y reconoce productos a través de 8 cámaras y un sistema patentado de visión con reconocimiento

visual y deep learning con una precisión de 99% como se observa en la Figura 2.5. Asimismo, permite la guía por voz hacia ubicaciones de productos pues cuenta con posicionamiento en tiempo real dentro del local y brinda acceso a cupones y descuentos. Además, este carro cuenta con un sistema de monitoreo del contenido, el cual rastrea los productos escaneados hasta que se realiza el pago para evitar robos. La duración de su batería es de 12 horas operativas (TRACXPOINT, s.f.).



Figura 2.5 Modelo del carro DaiVi (TRACXPOINT, s.f.)

2.1.6. Smart shopping cart system

Este trabajo propone el diseño de un carro de compras inteligente, el cual permita acoplar la pantalla de asistencia al usuario a un carro de compras tradicional. Asimismo, se propone el uso de dispositivos RFID para el rastreo de los productos y el uso de un lector de código de barras para el registro de estos en el carro. El consumidor podrá crear su lista de compras desde casa, escanear sus productos en el carro para evitar las colas de espera al momento de pagar y localizar productos dentro de la tienda. Se plantea hacer uso de una pantalla que cuente con un lector de tarjeta para que se pueda realizar el pago dentro de la misma pantalla. Además, en la interfaz se desplegarán ofertas, la lista del comprador, historial de compras y juegos para los padres que compran con hijos (Abdelaziz, 2014).

2.1.7. Tabla comparativa de sistemas integrales

En la Tabla 2.1 se presentan las características de los sistemas integrales. El objetivo es analizar las características de los sistemas para identificar las fortalezas y oportunidades de mejora en cada uno, los cuales puedan servir de referencia para el diseño del presente proyecto.

Tabla 2.1 Comparación de características de sistemas integrales (Elaboración propia)

Producto	Registro de productos	¿Es utilizado por personas con discapacidad?	¿El carro de compras es autónomo?	Cantidad de cámaras	Duración de la batería (horas operativas)
Amazon Dash Cart	Reconocimiento de imágenes	Ninguna	No	-	-
Caper Cart	Reconocimiento de imágenes	Ninguna	No	3	10
“Líder al carro”	Escaneo de código de barras	Ninguna	No	-	-
El carro de la compra inteligente	Sensores RFID	Sí. Discapacidad motriz	Sí	1	-
DAiVi	Reconocimiento de imágenes	Ninguna	No	8	12
Smart shopping cart system	Escaneo de código de barras	Ninguna	No	0	-

2.2. Subsistema de interacción humano-robot

2.2.1. Sistema basado en Diálogos Multimodales y Adaptables

El trabajo describe el desarrollo y pruebas de un sistema de interacción natural entre humano-robot denominado “Robotics Dialog System” (RDS) en el robot social “Maggie”, orientado a usuarios no familiarizados a interactuar con sistemas robóticos, por lo que se usan técnicas que no requieran conocimientos previos. El sistema cuenta con módulos de comunicación que intentan lograr una interacción humana natural. Uno de los módulos es el de reconocimiento de voz a través del procesamiento del lenguaje natural que permite comprender el mensaje reproducido por el usuario en varios idiomas y reconocer las emociones del usuario para reaccionar empáticamente. También se tiene el módulo de generación del lenguaje natural, el cual procura obtener cierto grado de naturalidad, multilingüaje y que pueda expresar emociones. Asimismo, se integran sonidos no verbales como realizar gestos de enganche, afirmaciones o negaciones. Para integrar los módulos de reconocimiento y generación del lenguaje natural, se cuenta con el módulo de diálogo. Además, el sistema tiene un módulo de localización de usuarios que a través de sensores de ultrasonido permite identificar los usuarios que rodean al robot (Alonso, 2014). La integración de estos se observa en la Figura 2.6.

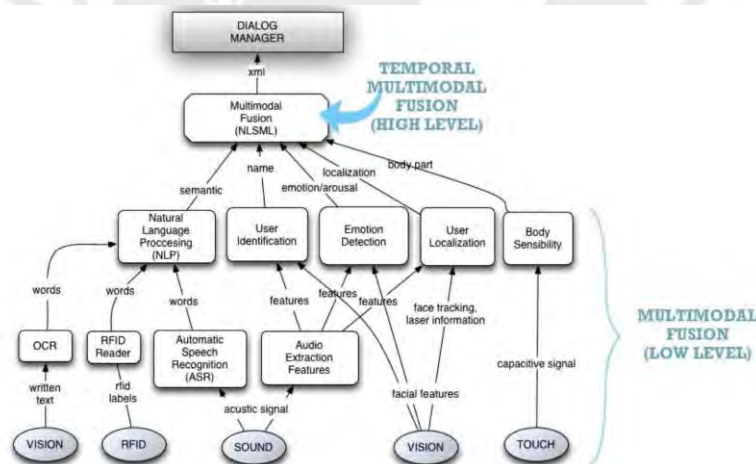


Figura 2.6 Niveles de fusión multimodal (Alonso, 2014)

2.2.2. Sistema basado en voz para el entrenamiento de comportamientos

El sistema utiliza la interacción por voz para dar órdenes al robot Sony AIBO ERS-7, formular preguntas sobre su entorno y entrenar en él comportamientos. Para ello se utilizó la herramienta CSLU Speech Tools Rapid Application Development (RAD) en los procesos de reconocimiento y síntesis de voz. Para las pruebas, se buscó que el robot realice comportamientos como caminar, girar, detenerse, entre otros. Dentro del sistema de interacción humano-robot se encuentran 3 módulos. El primero es “Diálogo de interacción” el cual hace referencia al diálogo entre el usuario y el robot. El segundo módulo es del HRI, el cual es el enlace entre la computadora y el robot para adquirir las preguntas e

indicaciones del usuario para enviárselas al robot. El último módulo es EK2008, el cual permite conectar el robot con el módulo HRI (Ramos, 2009). En la Figura 2.7 se observa el flujo de ejecución.

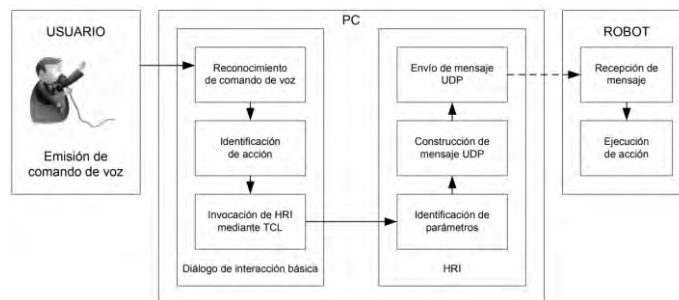


Figura 2.7 Flujo de ejecución de un comando (Ramos, 2009)

2.2.3. Gesture Based Remote System Using Kinect

Se realizó el diseño de una interfaz humano-robot basada en los gestos. El sistema de control propuesto hace uso de un sensor Kinect. El método de reconocimiento de gestos hace uso de datos de profundidad con el algoritmo de seguimiento Camshift tradicional. Si una persona mueve la mano frente al sensor Kinect, se reconocerá el movimiento a través de fotogramas sucesivos para luego hacer uso del algoritmo de Camshift el cual emplea solo información de color, lo cual puede producir errores en píxeles de similar color por lo que se ingresa información de profundidad (Qian et al., 2013). Este reconocimiento se muestra en la siguiente interfaz gráfica de la Figura 2.8.

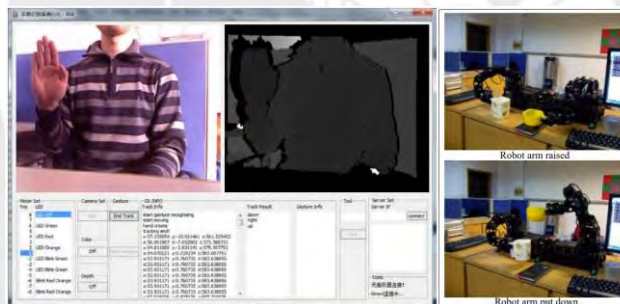


Figura 2.8 Software GUI (Qian et al., 2013)

2.2.4. An Augmented Reality Interface in Unconstrained Environments

En esta investigación, se realiza el diseño y evaluación de una interfaz de realidad aumentada para la interacción humano-robot en un entorno de trabajo compartido. La interfaz, instalada en un dispositivo móvil, permite al usuario controlar el desplazamiento del robot e indicarle acciones como recoger y depositar objetos. Para ello, el usuario selecciona la posición final deseada en la pantalla del celular, donde se visualiza un entorno virtual interactivo del espacio de trabajo, desarrollado en Unity 3D (Figura 2.9). Para la estimación de posiciones se hace uso de ARCore de Google, la cual permite el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada y estima posiciones físicas a través del uso de un conjunto de imágenes 2D de referencia (Chack & Kapila, 2019).

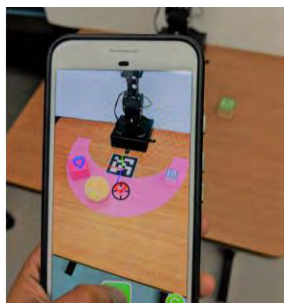


Figura 2.9 Selección de punto final por parte del usuario (Chack & Kapila, 2019)

2.2.5. Smart Shopping Trolley Using Sign Language

En esta investigación se presenta el diseño de un carro de compras inteligente con una interfaz de usuario multimodal que incluye el lenguaje de señas ruso, reconocimiento acústico del habla y una pantalla táctil. El sistema responde en lenguaje de señas a la persona con un avatar 3D y si el usuario lo solicita, le indica la ubicación del producto seleccionado. La arquitectura del sistema empleado se muestra en la Figura 2.10. Para la detección de los gestos realizados por la persona, se utiliza el sensor Kinect 2.0 el cual utiliza información de una cámara, sensores infrarrojos y un sensor de profundidad para poder determinar adecuadamente el mensaje del emisor (Ryumin et al., 2019).

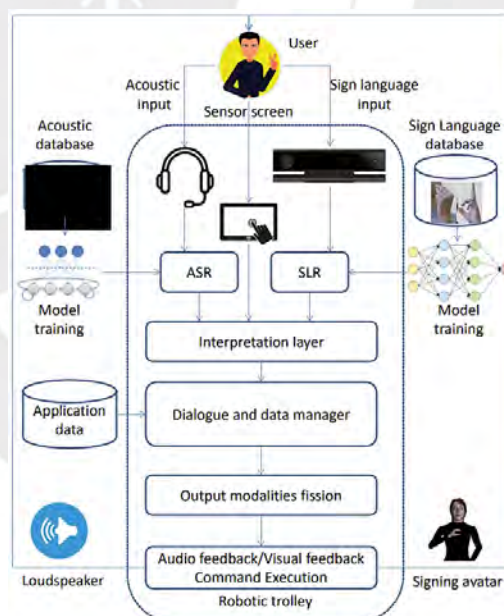


Figura 2.10 Arquitectura del carro de compras inteligente (Ryumin et al., 2019)

2.2.6. Tabla comparativa de sistemas de interacción humano-robot

En la siguiente tabla se colocan las principales características de los sistemas de interacción humano-robot anteriormente mencionados en esta sección para identificar las fortalezas y oportunidades de mejora en cada uno de ellos.

Tabla 2.2 Comparación de características de sistemas de interacción humano-robot (Elaboración propia)

Sistema	Información reconocida	Sensores	Sistema con el cual se interactúa
Sistema basado en Diálogos Multimodales y Adaptables	Voz Emociones	Cámara Micrófono Sensor ultrasónico	Robot social Maggie
Sistema basado en voz para el entrenamiento de comportamientos	Voz	Micrófono	Sony AIBO ERS-7
Gesture Based Remote System Using Kinect	Gestos	Cámara Kinect 2.0	Doble brazo robótico
An Augmented Reality Interface in Unconstrained Environments	Entorno	Cámara	App que controla un brazo robótico
Smart Shopping Trolley Using Sign Language	Voz Señas Gestos	Cámara Micrófono Kinect 2.0	Carro de compras

2.3. Subsistema mecánico

2.3.1. Carros de compra estándares

Los modelos de carro de compra predominantemente usados en los supermercados actualmente son los del modelo plegable, los cuales resaltan por su mecanismo que permite acoplarse a otros carros en fila. Estos se fabrican de acuerdo con el peso que soportan el cual va de 210 kg como se observa en la Figura 2.11 a 85 kg como se observa en la Figura 2.12 (Mr. Shelf, s.f.). Este modelo cuenta con chasis de 1 sola pieza, cuatro ruedas giratorias que permiten un fácil manejo y son plegables para permitir un almacenamiento sencillo con ahorro de espacio (CSI Products, s.f.). La mayoría cuenta con un acabado de zinc brillante y la parte que recubre el mango es un tubo de plástico (Mr. Shelf, s.f.). Sin embargo; en los últimos años han sido creado carros 100% reciclables como los carros Duka que también brindan una buena resistencia a las condiciones ambientales (Shopping Trolleys Ireland, s.f.).

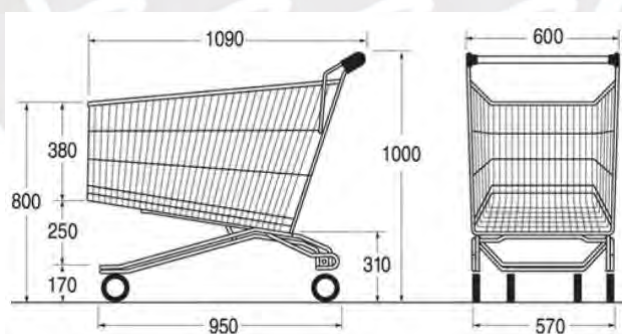


Figura 2.11 Carro de compras de 210 kg con medidas en mm (Shop Equipment Limited, s.f.)



Figura 2.12 Carro de compras de 85 kg (Mr. Shelf, s.f.)

2.3.2. Carros de compra para usuarios con sillas de ruedas

Este carro para personas con sillas de ruedas diseñado por la empresa Wanzl tiene un mecanismo que permite acoplar el carro a la silla de ruedas de la persona como se muestra en la Figura 2.13. Este modelo cuenta con un parachoques para evitar el daño del carro o de artículos dentro de la tienda. Además, permite la compra a estos usuarios de manera independiente dentro de la tienda y puede ser anidado en fila con otros similares para ahorrar espacio. Existen 2 modelos de carro que varían según el tamaño de la cesta y el peso que soportan, los cuales son 40kg y 90kg (Figura 2.14).



Figura 2.13 Carro de compras para usuarios con silla de ruedas (Wanzl, s.f.)

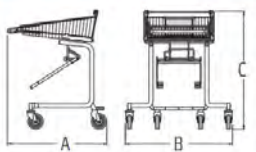

Shopping trolley for wheelchair users	40	90
		
	Order no.	Order no.
Plastic powder coating	02.17063.51-0000	02.08928.51-0000
A x B x C, length x width x height (mm)	793 x 865 x 959	793 x 865 x 1056
Nesting depth in a row (mm)	275	275
Basket volume (litres) / load capacity (kg)	40/40	90/90
Castor diameter (mm)	125	125

Figura 2.14 Comparación entre modelos para sillas de ruedas (Wanzl, s.f.)

2.3.3. Carros de compra para personas mayores

Este modelo de carro brinda una mejor experiencia de compra a personas mayores. El carro cuenta con un asiento integrado para descanso del usuario como se muestra en la Figura 2.15, tiene un mecanismo de parada automática que evita que el carro se mueva cuando el usuario se encuentra sentado y cuenta con accesorios que mejoran la experiencia como un sujetador de paraguas, mango para bolsas y un recipiente para almacenar monedas. Este modelo también puede ser apilado para ahorrar espacio, soporta un peso máximo de 40 kg y presenta las características mecánicas mostradas en la Figura 2.16.



Figura 2.15 Persona mayor haciendo uso del asiento del carro de compras (Wanzl, s.f.)

Sedo shopping trolley	
	
Finishes	Order no.
High gloss, galvanised, chrome-plated	02.04633.52-0000
Plastic powder coating	02.04633.95-0000
A x B x C, length x width x height (mm)	891 x 673 x 1096
Nesting depth in a row (mm)	360
Basket volume (litres) / load capacity (kg)	40/40
Castor diameter (mm)	125

Figura 2.16 Características del carro de compra para personas adultas (Wanzl, s.f.)

2.3.4. Tabla comparativa de sistemas mecánicos

En la Tabla 2.3 se presentan las características de los sistemas mecánicos descritos previamente en esta sección. El objetivo es analizar las características principales de cada uno de ellos, de tal manera que se encuentren las ventajas y desventajas de cada uno.

Tabla 2.3 Comparación de características de sistemas mecánicos (Elaboración propia)

Dispositivo	Dimensiones (mm)	¿Plegable?	Peso máximo	¿Se acopla a la sillas de ruedas?	Accesorios
Carros de compra estándares	950 x 570 x 1000	Sí	85 – 210 kg	No	-
Carros de compra para usuarios con sillas de ruedas	763x 865 x 1056	Sí	40 -90 kg	Sí	Parachoques
Carros para personas mayores	891 x 673 x 1096	Sí	40 kg	No	- Sujetador de paraguas y bolsas - Recipiente para monedas

2.4. Subsistema de elevación

2.4.1. Mesa elevadora tipo tijera simple

El mecanismo de tijera simple es utilizado para poder regular la altura de una plataforma haciendo uso de un actuador, los cuales pueden ser de tipo neumático, eléctrico, entre otros. En un trabajo realizado por Navarro, Á. se realizó el diseño de una mesa elevadora que hace uso del mecanismo de tijera simple para variar su tamaño a través de un accionamiento por dos cilindros electrohidráulicos como se observa en la Figura 2.17. La altura de la mesa fue diseñada puede variar entre 200 y 1700 milímetros y debe soportar una carga máxima de 2000 kg, por ello se distribuyen simétricamente los cilindros hidráulicos de tal manera que cada uno soporte 1000 kg. Asimismo, se realizaron los cálculos para determinar el dimensionamiento de las piezas a partir de los materiales seleccionados haciendo uso de la teoría de resistencia de materiales y utilizando softwares para simular la respuesta del sistema (Navarro, 2019).

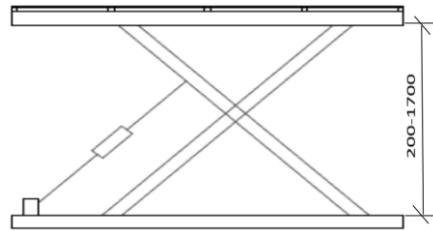


Figura 2.17 Mecanismo tijera accionamiento electrohidráulico (Navarro, 2019)

Por otro lado, en el sistema diseñado por Disset, O. se utiliza el mecanismo de tijera simple con accionamiento oleo-hidráulico. Cada cilindro cuenta con una válvula que regula la velocidad de descenso para evitar movimientos bruscos y se hace uso de aceite en los puntos de engrase que se muestran en la Figura 2.18 con el objetivo de alargar la vida útil (Disset, 2021). En cuanto a la distribución de la carga, el sistema se guía de la normativa EN 1570, la cual establece lo siguiente:

- El sistema debe soportar 100% de la carga máxima cuando esta se encuentra repartida uniformemente en toda la plataforma.
- Evaluar el comportamiento ante el 50% de la carga máxima repartida sobre una mitad del tablero.
- Evaluar la resistencia ante el 33% de carga máxima distribuida en la mitad transversal de la mesa.

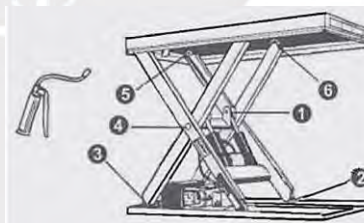


Figura 2.18 Mecanismo tijera accionamiento electrohidráulico (Disset, 2021)

2.4.2. Escritorio graduable manualmente

En este trabajo se propone el uso de un sistema de piñón-cremallera que permita la elevación de la superficie (Infante, 2020). Este sistema tiene como objetivo transformar el movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo y se encuentra formado de un piñón y una cremallera. El piñón es una rueda dentada que rota alrededor de su eje, mientras que la cremallera describe un movimiento rectilíneo de acuerdo con el sentido de giro del piñón (Lozano, 2013).

2.4.3. Mesa graduable con accionamiento neumático

Este escritorio “*Standing Desk Converter*” permite el cambio de posturas entre sentado y de pie, varía de 16 cm a 45cm a través del cambio de inclinación de las barras del mecanismo. Cuenta con un accionamiento neumático a través de muelles de gas ubicados simétricamente (Figura 2.19) (Mount-It!, s.f.). Estos resortes de gas permiten elevar o descender la plataforma sin usar una fuente externa de energía. La fuerza del resorte que empuja las barras depende del área transversal del pistón y la presión a la cual se llenó el gas, por lo que pueden ser adaptados a los requerimientos del usuario (ACE, 2012).



Figura 2.19 Mesa graduable neumáticamente (Mount-It!, s.f.)

2.4.4. Escritorio graduable con accionamiento eléctrico

Este escritorio permite regular la altura para elegir entre el trabajar sentado o parado. Utiliza un marco de acero y es accionado por un motor eléctrico que permite regular la altura. Tiene una capacidad de carga de 125 kg y cuenta con una entrada de alimentación entre 100-240 V. Cuando se desea elevar la altura, se hace uso de botones giratorios como se observa en la Figura 2.20. los cuales accionan el motor y este comienza el movimiento de las columnas de elevación (Digitus, 2020).

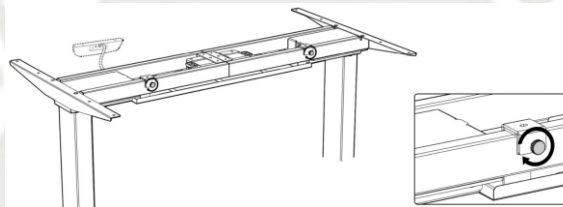


Figura 2.20 Escritorio graduable accionado eléctricamente (Digitus, 2020)

2.4.5. Escritorio regulable accionado manualmente

Este escritorio permite regular la altura para el trabajo sentado o de pie de manera manual a través de una manija ubicada en la parte inferior del tablero (Figura 2.21). Puede variar la altura entre 115 cm - 180 cm y soporta un máximo peso de 100 kg. El mecanismo consta de una manija exterior y dos varillas internas conectadas a una caja de engranajes. Al girar la manija, la caja transforma este movimiento en un desplazamiento vertical (Gostand, s.f.).

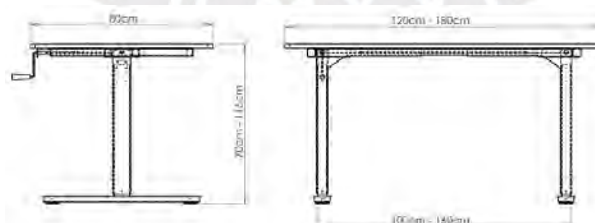


Figura 2.21 Escritorio con manilla regulable (Gostand, s.f.)

2.4.6. Tabla comparativa de sistemas de elevación

En la Tabla 2.4 se muestra la comparación entre los sistemas de elevación a través de características distintivas como tipo de accionamiento, actuadores y mecanismo de elevación.

Tabla 2.4 Comparación de características de sistema de elevación (Elaboración propia)

Sistema	Tipo de accionamiento	Actuador	Cantidad actuadores	Mecanismo de elevación
Mesa elevadora tipo tijera simple	- Electrohidráulico - Oleo-hidráulico	- Cilindros electrohidráulicos - Pistones oleo-hidráulicos	2	Tijera simple
Escritorio graduable manualmente	Manual	Sin actuador	0	Rueda-piñón
Mesa graduable con accionamiento neumático	Neumático	Muelles de gas	2	-
Escritorio graduable con accionamiento eléctrico	Eléctrico	Motor eléctrico	1	Empuje de las columnas de elevación
Escritorio regulable accionado manualmente	Manual	Sin actuador	0	Caja de engranajes

3. CAPÍTULO III: DISEÑO CONCEPTUAL

En el presente capítulo se desarrollará el diseño conceptual del carro de compras.

3.1. Requerimientos del sistema

En esta sección se listan los requerimientos del sistema en aspectos como geometría, cinemática y ergonomía. Estos definirán las características del modelo final y servirán para la validación de este. Además, se muestran organizados en una tabla en el Anexo A.

Función principal

El sistema debe ofrecer una experiencia de compra personalizada mediante el escaneo automático de productos, el pago en el carrito para evitar colas, la asistencia por voz e interfaz gráfica, y la accesibilidad para personas con discapacidad motriz, auditiva y visual parcial.

Geometría

Para facilitar la circulación por los pasillos de los supermercados, el ancho del carro no debe superar los 1.20 metros, conforme a la Resolución Ministerial N° 061-2021-VIVIENDA (2021). Además, la altura estándar del carro debe de ser 1.0 metro para garantizar la comodidad de personas.

Por otro lado, el carro de supermercado debe de permitir el giro entre los pasillos, por ello la estructura de giro debe permitir un giro con diámetro menor a 1 metro.

Fuerzas

El peso del carro sin carga en la cesta de compras debe ser menor a 35 kg para que el usuario pueda empujarlo fácilmente. El mecanismo debe de soportar un peso mínimo de 40 kg por más de 10 horas de manera consecutiva sin deformarse para garantizar su resistencia frente a condiciones de trabajo en días de alta concurrencia en supermercados. Además, el mecanismo de elevación debe de mantener la altura de la cesta en la posición fijada por el usuario independientemente del peso que soporte.

Ergonomía

El carro de compras debe permitir regular su altura para que el usuario la adapte a sus necesidades. Esta altura variará en el rango de 600 mm a 1200 mm. La altura mínima permitirá un adecuado uso a personas con enanismo, quienes tienen una altura promedio de 1.20 m (Mayo Clinic, 2021), la altura de 1000 mm es la utilizada de manera comercial en los carros de compra convencionales y la altura máxima de 1200 mm podrá ser utilizada por personas de gran estatura.

Cinética

El carro debe desplazarse sin resbalar en los pisos de los supermercados, los cuales de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones deben tener un coeficiente de fricción mínimo que cumpla con la norma ISO 10545-17 (RESOLUCIÓN MINISTERIAL No 075-2023-VIVIENDA, 2023).

Cinemática

La regulación de la altura del carro debe realizarse a una velocidad máxima de 2 cm/s para no dañar a la persona y brindarle mejor control de la altura deseada.

Señales

El carro debe contar con una opción de encendido o apagado del sistema, una opción para regular la altura del carro y se debe brindar la alternativa de restablecer la altura de la cesta a la altura estándar para aquellos usuarios que no deseen variar la altura. Asimismo, se debe permitir la activación o desactivación del modo de guía y asistencia por voz, la modulación del volumen de la voz que emite el carro para comunicarse con el usuario y un botón para comunicarse por voz.

Por otro lado, las señales de salida serán brindadas a través de voz e imágenes o mensajes dentro de la interfaz. Los comandos de voz permitirán brindar guía a las personas con discapacidad visual haciendo uso de la localización dentro del local y la detección de obstáculos. Se hará uso de señales luminosas para brindar información, por ejemplo, el color azul indica que el usuario se encuentra en proceso de compra y aún no ha pagado, el color verde indica que ya realizó el pago de los objetos en la cesta, el anaranjado indica que el carro se encuentra cargando, el amarillo indica que el carro está completamente cargado y el color blanco indica que el usuario es una persona con discapacidad visual.

Interacción

La interacción con el usuario se realizará a través de comandos de voz y una interfaz visual táctil. En la interfaz el tamaño de texto se podrá modificar para facilitar el uso a personas con discapacidad visual parcial. Además, se desea contar con una asistente virtual la cual pueda ayudar a resolver consultas que las personas tengan sobre el uso del carro de compras, precios, promociones y localización de productos.

Electrónica

El sistema será alimentado por baterías para garantizar su libre desplazamiento por el local. Se debe garantizar una autonomía mínima de 10 horas para que el carro pueda ser utilizado de manera continua.

El carro contará con sensores como micrófonos, sensores de ubicación del vehículo, cámaras y sensores para detectar obstáculos. Asimismo, tendrá como actuador al accionador del sistema de variación de altura y para la interfaz visual se hará uso de una pantalla táctil. Además, utilizará un microcomputador que permita realizar el procesamiento requerido como la identificación del producto ingresado en el carro, el reconocimiento del lenguaje natural y la generación de este para la asistencia personalizada.

Seguridad

El sistema contará con protección IP65, pues este garantiza que se encuentre protegido contra la entrada de polvo y no se dañe frente a chorros de agua provenientes de cualquier dirección (Galizia, s.f.). Asimismo, para garantizar la seguridad del usuario se aislarán los circuitos eléctricos y se utilizarán conectores que cumplan con la sección, espesor y diámetros indicados en el Decreto Supremo N°013-2016 del Perú (2016), para garantizar la seguridad de las personas, sí como prever prácticas riesgosas.

Software

Se debe realizar un algoritmo de reconocimiento de productos para que estos puedan ser registrados cuando sean ingresados o retirados del carro de compras con una eficiencia no menor del 80%. Además, el carro debe contar con reconocimiento y generación del lenguaje natural para poder comunicarse con el usuario. Asimismo, se debe contar con una interfaz visual para la interacción táctil con el usuario.

Comunicación

El carro contará con comunicación con el banco para poder efectuar las transferencias bancarias que garanticen el pago de los productos por tarjeta de crédito o débito a través de un POS (*Point of sale*).

Fabricación

Las piezas que no se encuentren afectadas por el peso de las compras dentro de la canasta se fabricarán por técnicas de prototipado rápido como manufactura aditiva y corte láser. En cambio, para las piezas que soportan la carga se analizarán las técnicas de fabricación a emplear de acuerdo con el material seleccionado y los cálculos de resistencia.

Uso

El carro de compras inteligente será utilizado en supermercados peruanos, por lo que debe de soportar las temperaturas de las distintas regiones del país, las cuales oscilan entre 30°C en verano en las regiones costeras y entre 5°C en invierno en las regiones de sierra en el país (Ministerio del Ambiente & Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2021). Además, debe de funcionar adecuadamente en entornos con humedad máxima de 90%.

3.2. Definición de entradas y salidas

En esta sección se identifican las entradas y salidas del sistema, lo que permitirá definir posteriormente su estructura funcional. Al final, se presenta un diagrama Black Box (Figura 3.1) que ilustra las entradas y salidas sin considerar la estructura interna ni el funcionamiento detallado del sistema.

Entradas

- Bases de datos del supermercado: El sistema recurre a las bases de datos del supermercado para obtener información de los productos y ofertas.
- Entorno: Se recopilan datos sobre la proximidad de objetos para evitar colisiones.
- Energía del usuario: El usuario proporciona la energía necesaria para empujar el carrito de compras e interactuar con el sistema mediante la pantalla táctil o comandos de voz.
- Energía eléctrica: Alimentación del sistema que permite cargar las baterías.
- Productos sin pagar: El usuario ingresa en el carro productos que aún no han sido pagados.
- Confirmación de pago: Se recibe la confirmación de pago, validando la compra.

Salidas

- Voz: El sistema genera lenguaje natural para proporcionar información verbal al usuario.
- Contenido visual: Imágenes y mensajes que son desplegados en la interfaz para la interacción.
- Luz: El sistema contará con una luz que brindará información a través de colores. El color azul indica que el usuario se encuentra comprando, el color verde indica que ya efectuó el pago, el color blanco indica que es una persona con discapacidad visual, el color anaranjado indica que el carro se encuentra en proceso de carga y el color amarillo que culminó la carga.
- Información de pago: El sistema envía al POS integrado al carro de compras el monto de los productos para que el usuario realice el pago de estos.
- Productos pagados: El usuario retira los productos de la cesta al final de la compra.

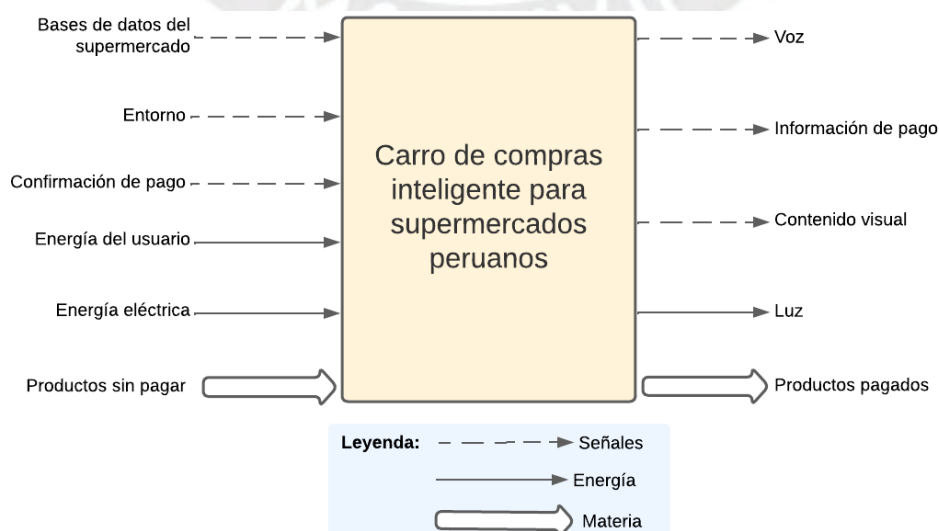


Figura 3.1 Diagrama Black Box (Elaboración propia)

3.3. Estructura de funciones

En esta sección se detallan las funciones con las cuales contará el sistema para cumplir con los requerimientos y objetivos planteados. Las funciones se organizaron en dominios (mecánico, sensores, procesamiento y control, actuadores y comunicación) y subsistemas (energía, compra de productos, interacción humano-robot, localización y mecánico). El diagrama de funciones del sistema integral se observa en la Figura 3.2, mientras que la explicación de cada subsistema se encuentra en el Anexo B.

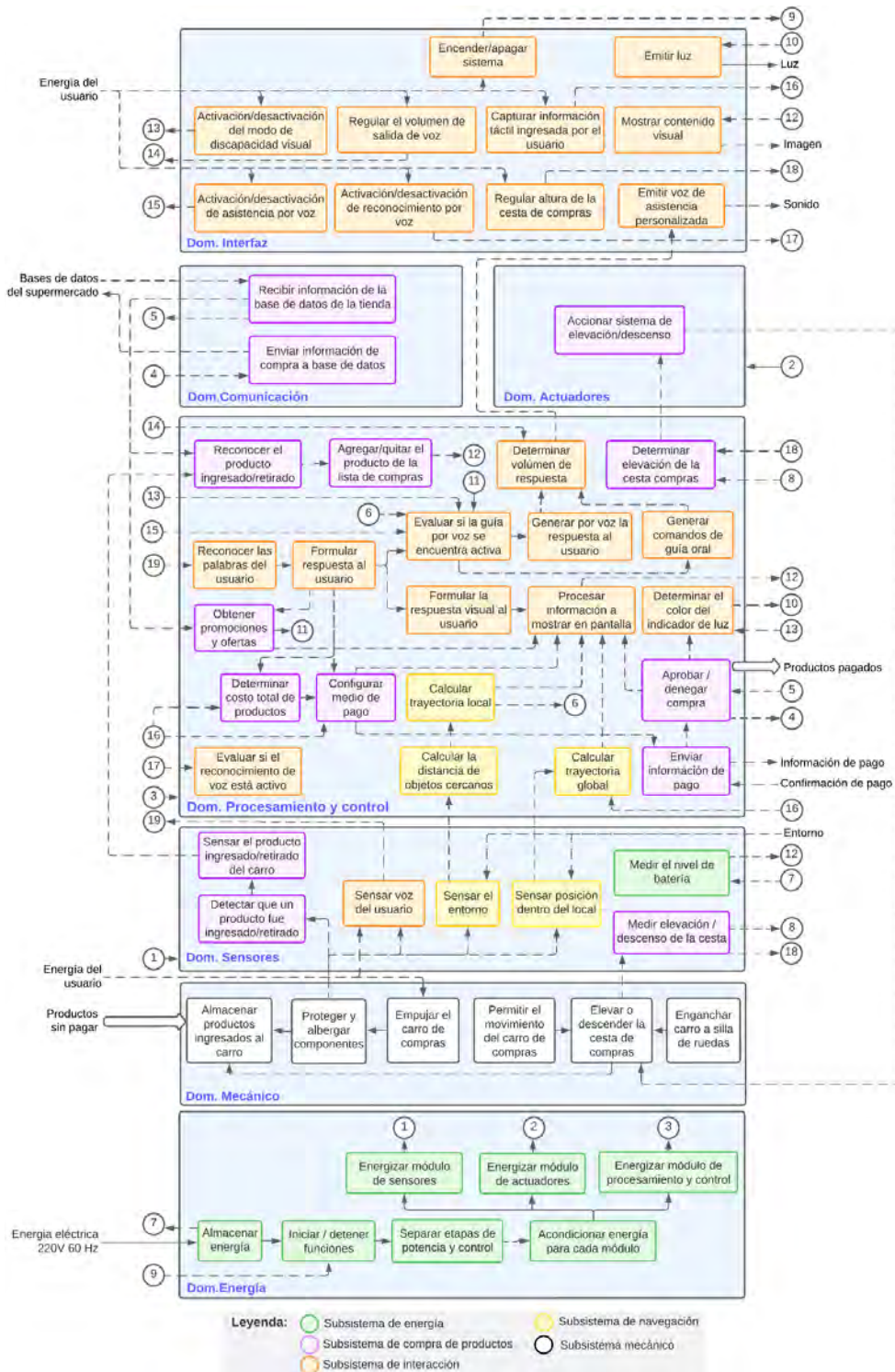


Figura 3.2 Estructura de funciones (Elaboración propia)

3.4. Matriz morfológica

Se han seleccionado distintos componentes y tecnologías para lograr las funciones planteadas en la sección anterior, los cuales pueden visualizarse en el Anexo C. Con ello, se plantearon tres conceptos de solución, los cuales pueden observarse en el Anexo D. A continuación, se muestran en la Tabla 3.1 las alternativas seleccionadas para cada concepto para facilitar la evaluación y comparación.

Tabla 3.1 Matriz morfológica de los conceptos de solución (Elaboración propia)

Dominio	Función	Concepto de solución 1	Concepto de solución 2	Concepto de solución 3	
Subsistema de compra de productos					
Sensores	Detectar el producto ingresado/retirado del carro	Cámaras + lector de código de barras	Lector de código de barras	Cámaras + lector código de barras	
	Medir elevación/descenso de la cesta	Sensor de distancia láser	Galga extensiométrica	Ultrasonido	
Procesamiento y control	Hardware	Reconocer el producto ingresado/retirado del carro	Computador	Computador	Computador
		Agregar/quitar el producto de la lista de compras del usuario			
		Determinar el costo total de productos			
		Configurar medio de pago			
		Aprobar/denegar compra			
		Determinar elevación de la cesta			
	Procesar pago de los productos	POS móvil	POS app	POS móvil	
	Software	Reconocer el producto ingresado/retirado del carro	API de detección de objetos	Red neuronal recurrente	Red neuronal convolucional
		Agregar/quitar el producto de la lista de compras del usuario	Programación imperativa	Programación orientada a objetos	Programación estructurada
		Determinar el costo total de productos			
Configurar medio de pago					
Aprobar/denegar compra					
Determinar elevación de la cesta	Control PID	Control adaptativo	Control PID		
Comunicación	Recibir información de la base de datos	API RESTful	ORM (Mapeo objeto-relacional)	Conexión directa a base de datos	
	Enviar información a la base de datos	(Service request)			
Subsistema de interacción humano-robot					
Procesamiento y control	Hardware	Evaluar si el reconocimiento de voz está activo	Microcontrolador + Computador	Computador	Microcontrolador + Computador
		Reconocer las palabras del usuario			
		Identificar las palabras clave			
		Evaluar si la guía por voz está activa			
		Formular respuesta por voz al usuario			
		Generar comandos de guía oral			
		Determinar volumen de respuesta			
		Formular la respuesta visual al usuario			
	Software	Procesar información visual a mostrar	Programación estructurada	Programación orientada a objetos	Programación estructurada
		Determinar el color de luz emitida			
		Evaluar si el reconocimiento de voz está activo			
		Reconocer las palabras del usuario			
		Identificar las palabras clave			
		Evaluar si la guía por voz está activa			
		Formular respuesta por voz al usuario			
		Generar comandos de guía oral			
	Determinar volumen de respuesta				
Formular la respuesta visual al usuario	Procesamiento de señales	Algoritmos de reconocimiento de voz	Application programming interfaces (API)		
Procesar información visual a mostrar					
Determinar el color de luz emitida					
Reconocer las palabras del usuario					

		Formular por voz la respuesta al usuario	Transformadores de lenguaje pre-entrenados	Modelo basado en patrones de reconocimiento	Application programming interfaces (API)
Interfaz	Hardware	Identificar voz del usuario	Micrófono de condensador	Micrófono de cinta	Micrófono dinámico
		Activación/desactivación del modo de discapacidad visual	Switch on/off	Pantalla táctil	Push button
		Activación/desactivación de asistencia por voz			
		Activación/desactivación del reconocimiento de voz	Switch on/off	Pantalla táctil	Push button
		Regular volumen de salida	Botones	Pantalla táctil	Regulador
		Regular altura de la cesta de compras	Manualmente	Pantalla táctil	Botones
		Capturar información táctil ingresada	Pantalla táctil resistiva	Pantalla táctil resistiva	Pantalla táctil capacitiva
		Mostrar contenido visual	Altavoces	Audífonos	Altavoces
	Emitir voz de asistencia personalizada				
	Software	Activación/desactivación del modo de discapacidad visual	Programación imperativa	Programación orientada a objetos	Programación imperativa
		Activación/desactivación del modo de asistencia por voz			
		Activación/desactivación del reconocimiento de voz			
		Regular volumen de salida			
		Capturar información táctil ingresada	Programación estructurada	Programación orientada a objetos	Programación estructurada
		Mostrar contenido visual	Programación estructurada	Programación orientada a objetos	Programación estructurada
Emitir voz de asistencia personalizada					
Actuadores		Accionar sistema de elevación/descenso	Manualmente	Cilindro neumático	Motor eléctrico
Subsistema de navegación					
Sensores		Medir posición dentro del local	Localización por Wi-Fi	Localización por Wi-Fi	Tecnología UWB (Ultra Wide-Band)
		Identificar el entorno	Sensor infrarrojo	Cámara	Ultrasonido
Procesamiento y control	Hardware	Calcular la distancia de objetos cercanos al carro	Microcontrolador y computador	Computador	Microcontrolador y computador
		Orientar al usuario dentro del local			
		Determinar movimiento del carro			
	Software	Calcular la distancia de objetos cercanos al carro	Programación imperativa (microcontrolador) + programación estructurada (computador)	Programación orientada a objetos	Programación imperativa (microcontrolador) + programación estructurada (computador)
Orientar al usuario dentro del local					
Determinar movimiento del carro de compras					
Subsistema de energía					
Sensores		Medir energía	Divisor de voltaje	Divisor de voltaje	Sensor de diferencia de tensión
Energía		Almacenar energía	Batería LiPo	Baterías de plomo ácido	Baterías de litio-ion
		Iniciar / detener funciones	Switch	Botón	Botón
		Separar etapas de potencia y control	Optoacoplador	Relé	Relé
		Acondicionar energía para cada módulo	Regulación con diodo Zener	Regulador lineal	Regulador conmutable de voltaje
		Energizar módulo de sensores			
		Energizar módulo de actuadores			
	Energizar módulo de procesamiento				
Subsistema mecánico					
Mecánico		Proteger y albergar componentes	Carcasa de plástico	Carcasa de metal	Carcasa plástica
		Almacenar productos ingresados	Cesta de metal	Cesta de plástico	Cesta de plástico
		Empujar el carro de compras	Mango de plástico	Mango de metal	Mango de plástico
		Permitir el movimiento del carro de compras	2 ruedas giratorias y 2 motrices	4 ruedas giratorias	4 ruedas giratorias
		Elevar y descender la cesta de compras	Mecanismo de tornillos sin fin	Mecanismo de tijera simple	Mecanismo de engranajes helicoidales y tornillo sin fin
		Enganchar carro a silla de ruedas	Correas de enganche	Enganche metálico	Enganche metálico

3.5. Concepto de solución óptimo

En base a la evaluación técnico-económica, la cual puede visualizarse en el Anexo E, se determina que el concepto de solución óptimo es el concepto de solución 3. Con el objetivo de mejorar el cumplimiento de los requisitos, se realizan mejoras en este concepto, las cuales se listan a continuación.

- Se reemplaza el sensor de ultrasonido por un sensor de distancia láser, pues este brindará una mejor medición en línea recta para determinar la altura de la cesta de compras.
- Se incorpora una descripción en Braille en los botones del carro para que las personas con discapacidad visual puedan conocer su funcionalidad y hacer uso de ellos.
- Se agrega un botón de restablecimiento de altura para que cuando se desee regresar el carro a su altura normal se realice de manera rápida y fácil.
- Se utiliza un micrófono de tipo condensador debido a que estos tienen un tamaño más compacto que los dinámicos, lo cual es imprescindible para posicionarlo dentro de la carcasa.
- Se incorporan sensores de peso en la base del carro de compras para la detección del ingreso de productos que no fueron reconocidos por las cámaras. Esto permitirá tener un mejor control entre los objetos que ingresan y salen.
- Se agregan sensores de ultrasonido en la parte superior de la cesta para censar cuando un producto es ingresado por el usuario e iniciar el reconocimiento del código de barras.

3.6. Diagrama de flujo

En esta sección se presentan los procesos que seguirá el carro de compras mediante diagramas de flujo. En la Figura 3.3 se muestra el diagrama general del sistema, el cual se compone de varias subfunciones. La primera es "Inicializar sistema" (Figura 3.4), encargada de configurar los parámetros iniciales y ejecutar las acciones de preparación del sistema. Luego, la subfunción "Añadir producto" (Figura 3.5) reconoce los productos colocados en la cesta y los registra en el sistema. Por otro lado, "Activar modo para discapacidad visual" (Figura 3.6) habilita las funciones diseñadas para usuarios con discapacidad visual, mientras que "Identificar mensaje" (Figura 3.7) procesa y reconoce las palabras del usuario. Posteriormente, la subfunción "Formular respuesta" (Figura 3.8) genera una respuesta adecuada en función de la consulta recibida. Además, "Elevar o descender cesta" (Figura 3.9) activa el mecanismo de elevación o descenso de la cesta según sea necesario. Finalmente, "Pagar productos" (Figura 3.10) gestiona el proceso de pago de los productos. Estas subfunciones trabajan de manera conjunta para garantizar un funcionamiento y mejorar la experiencia de compra del usuario.

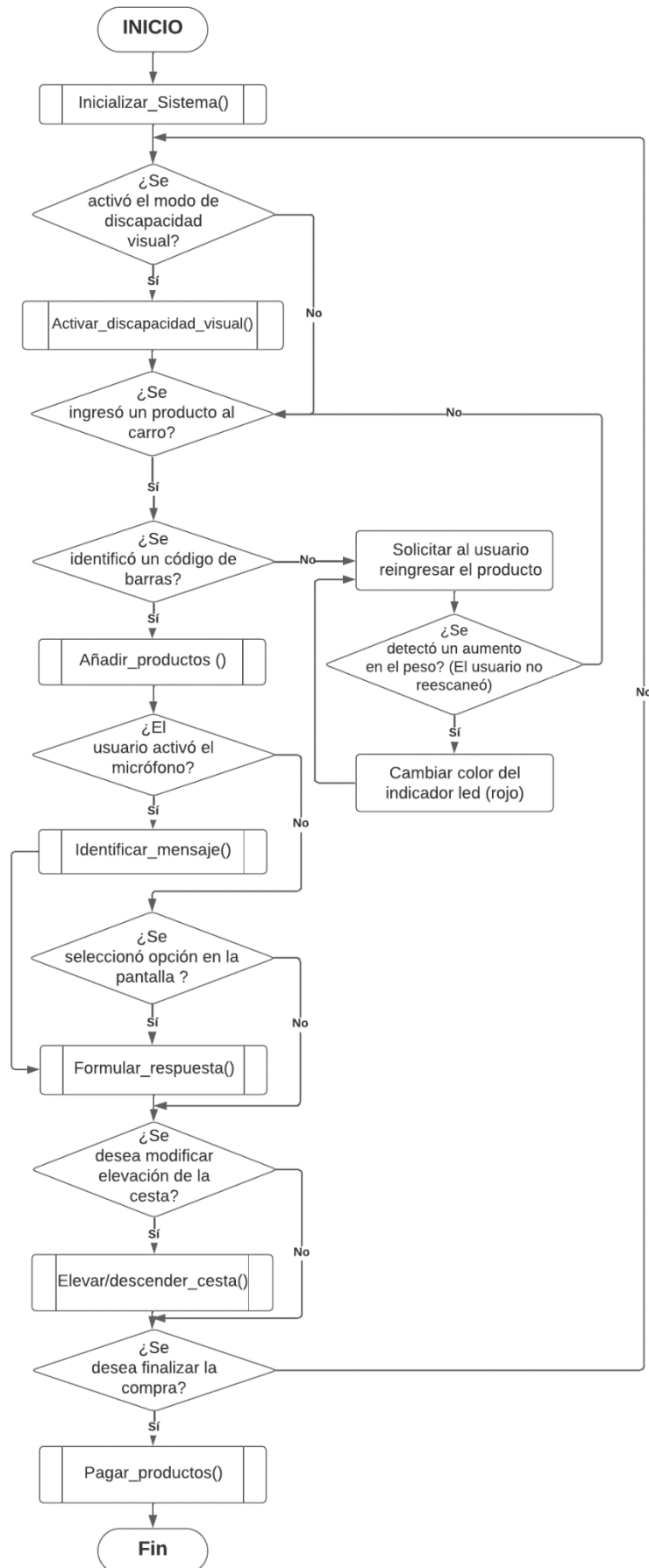


Figura 3.3 Diagrama de flujo general del sistema (Elaboración propia)



Figura 3.4 Diagrama de flujo de la función Iniciar_sistema (Elaboración propia)

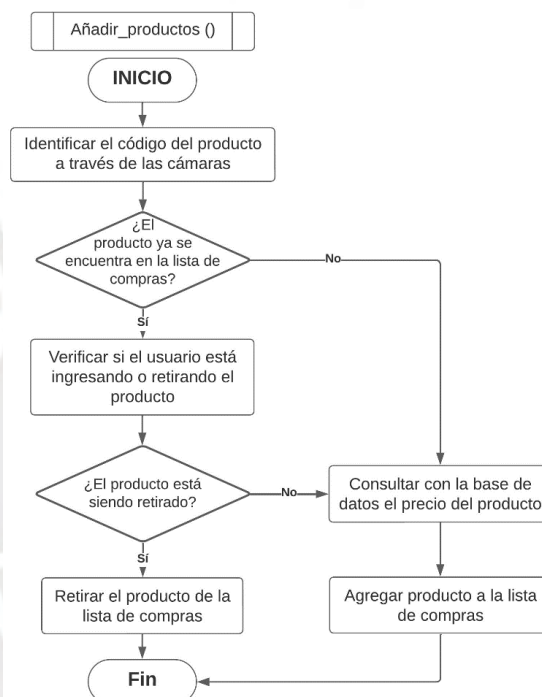


Figura 3.5 Diagrama de flujo de la función Añadir_productos (Elaboración propia)

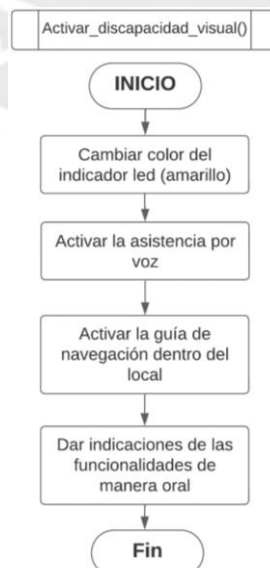


Figura 3.6 Diagrama de flujo de la función Activar_discapacidad_visual (Elaboración propia)



Figura 3.7 Diagrama de flujo de la función `Identificar_mensaje` (Elaboración propia)

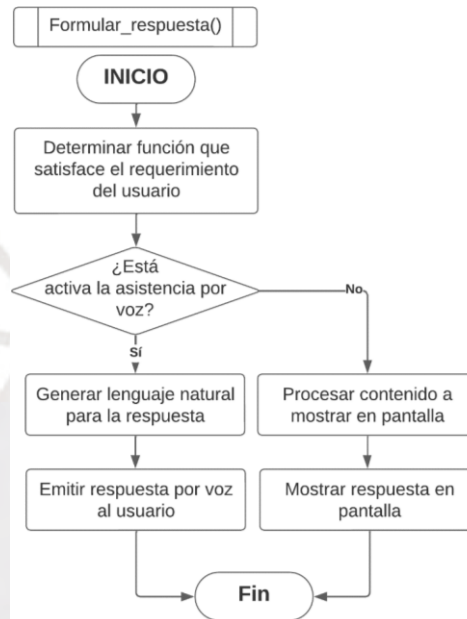


Figura 3.8 Diagrama de flujo de la función `Formular_respuesta` (Elaboración propia)

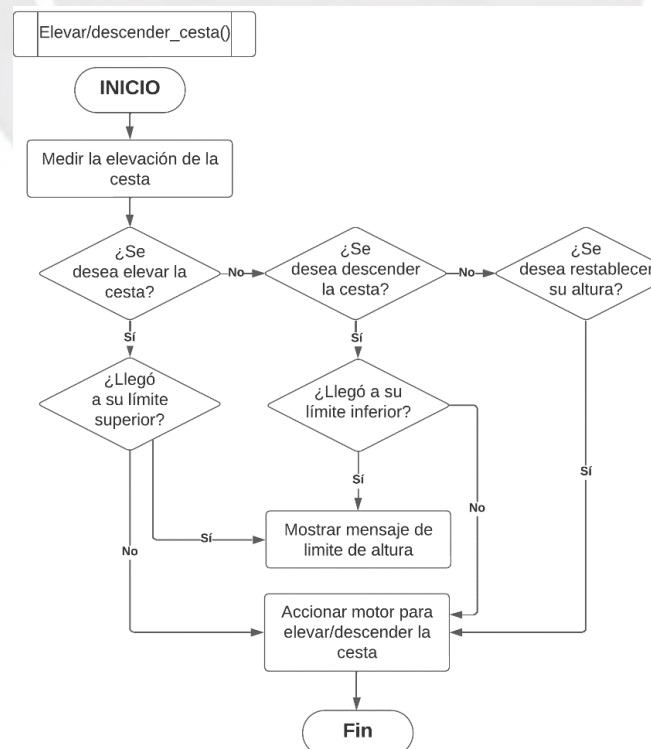


Figura 3.9 Diagrama de flujo de la función `Elevar/descender_cesta` (Elaboración propia)

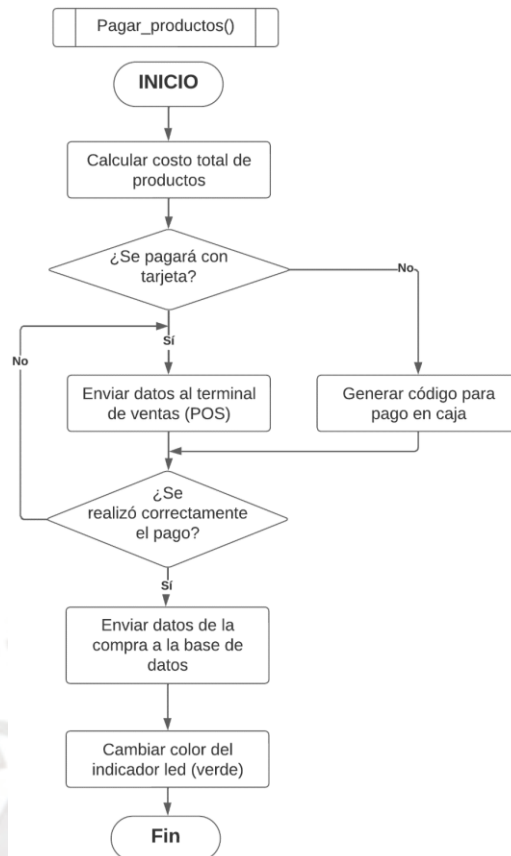


Figura 3.10 Diagrama de flujo de la función Pagar_productos (Elaboración propia)

3.7. Diagrama de operaciones

En esta sección se muestra el diagrama de operaciones del sistema, el cual muestra las operaciones seguidas por el usuario y el sistema durante la compra como se muestra en la Figura 3.11.

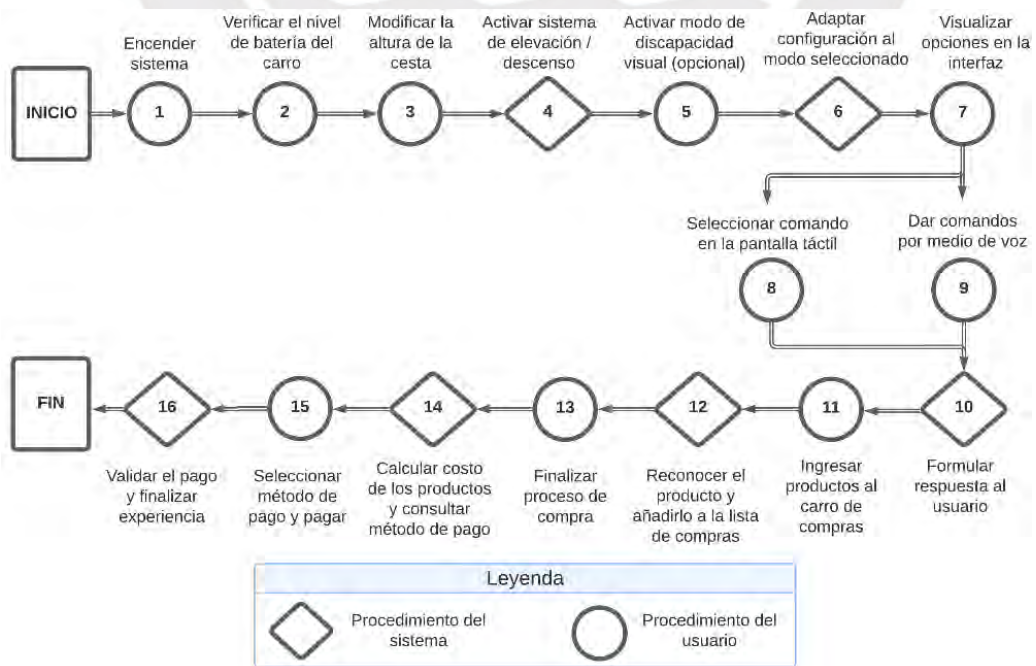


Figura 3.11 Diagrama de operaciones (Elaboración propia)

Las operaciones comienzan cuando el personal del supermercado enciende el sistema y verifica el nivel de batería para determinar si este está listo para su uso o necesita recargarse. Una vez validado, el carrito queda disponible para los usuarios.

Al encender el carro, el usuario puede ajustar la altura de la cesta de compras según sus necesidades, el sistema accionará su mecanismo hasta alcanzar la altura deseada. Si el usuario tiene discapacidad visual, puede habilitar el modo accesible, que ofrece guía por voz y asistencia de navegación. La interacción se realiza mediante pantalla táctil o comandos de voz, y el sistema responde a ambos métodos. Al agregar un producto, este se reconoce automáticamente y se incorpora a la lista de compras.

Finalmente, cuando el usuario concluye su compra y desea proceder al pago, se le solicita seleccionar el método de pago. Una vez validada la transacción, se emiten los comprobantes correspondientes.

3.8. Diagrama de bloques

En esta sección se encuentra el diagrama de bloques del sistema en la Figura 3.12, el cual ilustra la interacción y el flujo de información entre los distintos componentes del sistema.

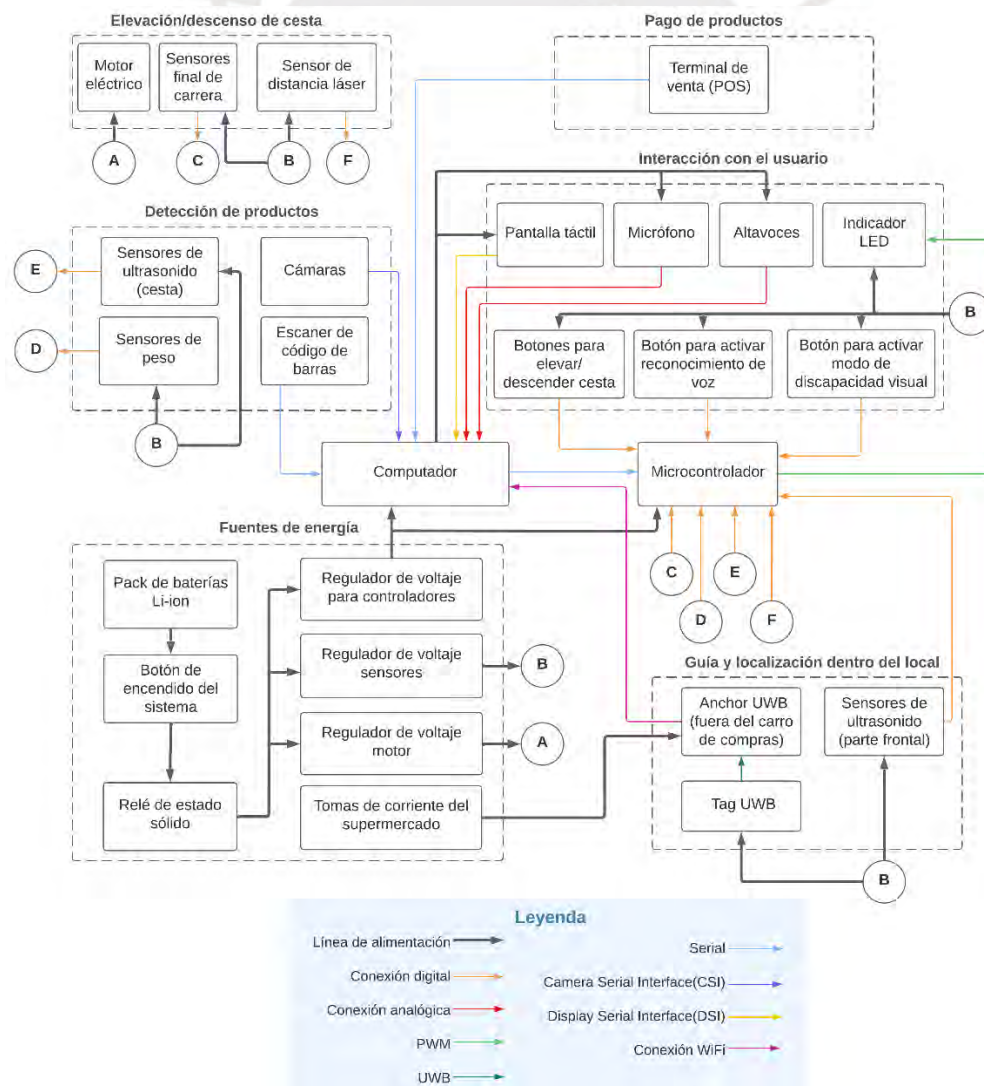


Figura 3.12 Diagrama de bloques (Elaboración propia)




4. CAPÍTULO IV: DISEÑO DE HARDWARE

Este capítulo presenta el diseño de hardware del sistema partiendo del diseño conceptual. Se describen los subsistemas y su integración en un sistema completo, incluyendo cálculos y componentes.

4.1. Subsistema de control

En el proyecto se requiere utilizar un microcontrolador y un computador para que en conjunto cumplan con las funciones del sistema y los objetivos de control. El microcontrolador interactúa con los sensores de ultrasonido, el sensor de distancia y los botones de la interfaz del usuario. En base a esto, en la Tabla 4.1 se realiza un análisis comparativo entre microcontroladores para seleccionar el más adecuado.

Tabla 4.1 Tabla comparativa microcontroladores (Elaboración propia)




	 Arduino Mega	 Nucleo STM32F446RE	 Teensy 4.1
Voltaje de alimentación	7 - 12 V DC	3.3, 5, 7 - 12 V DC	3.6 – 5.5 V DC
Voltaje de operación	5 V	3.3 V	3.3 V
Memoria Flash	256 kB	512 kB	7936 kB
Memoria RAM	8 kB	128 kB	1024 kB
Frecuencia de operación	16 MHz	180 MHz	600 MHz
Pines GPIO	54	114	55
Entorno de desarrollo integrado	Arduino IDE	STM32CubeIDE	Arduino IDE
Dimensiones	101.52 x 53.3 mm	82 x70x45 mm	61.03 x 17.78 x 4.07 mm
Peso	37 g	77 g	13 g
Fabricante o proveedor	Arduino	STM Microelectronics	PJRC
Precio	S/ 120	S/95	S/295
Enlace	Arduino Mega	NUCLEO-F446RE	Teensy 4.1

Se selecciona como microcontrolador el Núcleo STM32F446RE debido a su balance entre rendimiento, flexibilidad y costo. Este microcontrolador cuenta con un procesador ARM Cortex-M4 de 32 bits con una frecuencia de operación de 180 MHz, lo que permite manejar tareas complejas como procesamiento de datos de sensores y control eficiente en tiempo real. Además, cuenta con 114 pines GPIO, ofreciendo una amplia capacidad para la conexión de periféricos y módulos adicionales.

De la misma forma, se requiere de un computador para realizar tareas complejas de control y procesamiento. Sus funciones incluyen recibir comandos del usuario, generar respuestas mediante modelos de lenguaje, gestionar la interfaz visual, procesar el reconocimiento de productos, controlar la elevación de la cesta y manejar la logística de compra.

Para seleccionar el dispositivo adecuado, se compararon opciones (Tabla 4.2). Dado que el reconocimiento de productos y la generación de respuestas en tiempo real requieren una GPU dedicada, se descartó la Raspberry Pi 4 B y se evaluaron la Jetson Xavier NX y la Orin Nano. La Orin Nano cuenta con una GPU NVIDIA Ampere (1,024 núcleos CUDA y 32 núcleos Tensor), mientras que la Jetson Xavier NX tiene una GPU NVIDIA Volta (384 núcleos CUDA y 48 núcleos Tensor). Aunque la Orin Nano ofrece mayor capacidad, se optó por la Jetson Xavier NX por su equilibrio entre rendimiento y costo, sujeto a pruebas de concepto para validar su desempeño.

Tabla 4.2 Tabla comparativa de procesadores (Elaboración propia)

	Jetson Xavier NX 	Raspberry Pi 4 modelo B 	Jetson Orin Nano 
Alimentación	9 - 19 V DC	5 V DC	19 V DC
CPU	6-core NVIDIA Carmel ARM@v8.2 64-bit CPU 6 MB L2 + 4 MB L3	Broadcom BCM2711, Quad core Cortex-A72 (ARM v8) 64-bit SoC @ 1.8GHz	6-core Arm® Cortex®-A78AE v8.2 64-bit CPU 1.5MB L2 + 4MB L3
GPU	NVIDIA Volta architecture with 384 NVIDIA CUDA cores and 48 Tensor cores	-	1,024-core NVIDIA Ampere architecture GPU with 32 Tensor Cores
Memoria RAM	8 GB 128-bit LPDDR4x @ 51.2GB/s	8GB LPDDR4-3200 SDRAM	8GB 128-bit LPDDR5 68 GB/s
Dimensiones	103 x 90.5 x 31 mm	56.5 x 85.6 x 11 mm	100 x 79 x 21 mm
Empresa	Seeed Studio	Raspberry Pi Foundation	Seeed Studio
Precio	\$399	S/ 374.50	\$499
Enlace	Jetson Xavier NX	Raspberry Pi 4 B	Jetson Orin Nano





4.2. Subsistema de interacción

En esta sección se realiza la selección de componentes que permiten la interacción adecuada del usuario con el carro de compras para mejorar la experiencia dentro del local.

4.2.1. Obtención de inputs del usuario

El carro contará con un micrófono para captar la voz del usuario, este no debe ser susceptible al ruido ambiental y debe ser de tipo condensador de acuerdo con la matriz morfológica realizada. Se realiza una comparación técnica de micrófonos (Tabla 4.3), en la cual se toma como requerimiento que la respuesta en frecuencia se encuentre entre 50 y 300 Hz debido a que en promedio la frecuencia de voz masculina va de 50 – 200 Hz y la femenina de 150 – 350 Hz (Rodero, 2001) . Además, el micrófono debe de contar con un patrón cardioide para detectar la voz del usuario sin detectar ruido del entorno. Se selecciona el micrófono MX395 debido a que tiene un patrón polar cardioide, su respuesta de frecuencia está dentro del rango indicado y tiene dimensiones compactas.

Tabla 4.3 Tabla comparativa micrófonos dinámicos (Elaboración propia)

	Requerimiento	MV5 Microphone 	MX396 Microflex 	MX395 Microphone 
Tipo	Condensador	Electret Condensador	Electret Condensador	Condensador
Patrón polar	Cardioide	Cardioide (unidireccional)	3 elementos cardioides 	Cardioide / bidireccional / omnidireccional
Voltaje		5 V	48–52 Vdc	12 – 52 Vdc
Corriente		-	MX396/C-DUAL: 10mA MX396/C-TRI: 12mA	2 mA
Conectividad		USB	-	XLR
Respuesta(Hz)	50 – 300 Hz	20 – 20,000 Hz	50 – 17,000 Hz	50 – 170,000 Hz
Sensibilidad		-40 dBFS/Pa at 1 kHz	-35 dBV/Pa (18 mV)	Cardioid: -35 dBV/Pa (18 mV) Omni.: -28 dBV/Pa (42 mV) Bidirec.: -37 dBV/Pa (14 mV)
Impedancia		-	170 ohm	170 ohm
Dimensiones		66 x 67 x 65 mm	Φ110 x 24 mm	Φ32 x 102 mm
Amplificador		Sí (0 - +36 dB)	No	No
Precio		\$ 99.00	\$501	\$211.00
Enlace		MV5	MX396	MX395

Por otro lado, el usuario también puede ingresar información por medio de una pantalla táctil, la cual de acuerdo con la matriz morfológica es de tipo capacitiva. También, los textos deben visualizarse de manera clara especialmente por personas con discapacidad visual parcial, por lo que el tamaño debe ser superior a 8 pulgadas. En la Tabla 4.4 se comparan pantallas, considerando factores como calidad de imagen, durabilidad y ángulos de visión. El sistema debe ofrecer una visualización clara desde distintos ángulos y evitar el desgaste por uso prolongado, por ello se selecciona una pantalla QLED, que proporciona alta precisión de color y buen contraste sin el riesgo de quemado presente en otras tecnologías. Entre las opciones evaluadas, se consideraron pantallas de 9 y 10.1 pulgadas, eligiéndose la de 10.1 pulgadas por su mayor tamaño y menor costo, optimizando así la funcionalidad y eficiencia.

Tabla 4.4 Tabla comparativa de pantallas táctiles (Elaboración propia)

	Pantalla de Punto Cuántico QLED	Pantalla Táctil Capacitiva 2K	AMOLED Táctil Capacitiva	Pantalla Punto Cuántico QLED 10.1
Tipo de pantalla	QLED	LCD	AMOLED	QLED
Tamaño	9 pulgadas	8 pulgadas	10.5 pulgadas	10.1 pulgadas
Resolución	1280 x 720	1536 x 2048	2560 x 1600	1280 x 720
Conectividad	USB, HDMI	USB-C, HDMI	USB-C, HDMI	USB, HDMI
Puntos táctiles	10	10	10	10
Área de visualización	199.91 X 112.89 mm	159.74 x 119.80 mm	226.56 x 141.60 mm	225.64 X 127.36 mm
Dimensiones	219.11 X 136.59 mm	190 x 128 x 11 mm	245.19 x 162.77 x 11.60 mm	245.80 x 153.58 mm
Precio	\$ 125.65	\$ 109.99	\$ 199.99	\$ 124.99
Enlace	Waveshare 9in QLED	Pantalla Tactil 2K	Amoled 10,5 pulg	Waveshare QLED Technical info

Esta pantalla será utilizada constantemente durante el proceso de compras, es por ello que se requiere posicionarla ergonómicamente. La pantalla se encuentra en una carcasa en la parte superior de la cesta de compras. El ángulo de inclinación de la esta debe de permitir que el usuario visualice el contenido de manera ergonómica; lo cual en este proyecto implica no generar inclinaciones exageradas de la vista o del cuello que puedan generar incomodidad o tensión muscular. Por ello, se consideran los ángulos de flexión de cabeza y cuello junto con la orientación de la pantalla mostrados en la Figura 4.2.1. De acuerdo con un estudio en el cual se analizó la actividad muscular para distintos ángulos de inclinación del cuello, se recomienda que la inclinación del cuello al utilizar una pantalla de manera constante se encuentre entre 0 y 15° (Namwongsa et al., 2019); sin embargo, dado que el uso del carro de compras no involucra la inclinación por periodos prolongados a la pantalla, se tolera un ángulo mayor.

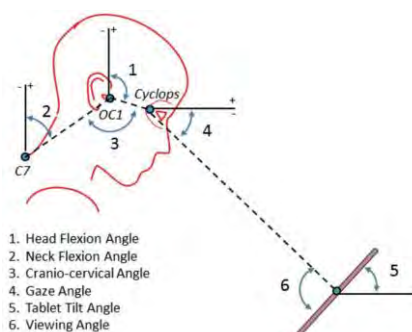


Figura 4.2.1 Ángulos de flexión e inclinación al utilizar una pantalla (Young et al., 2011)

Se tiene un diagrama de la posición corporal del usuario al visualizar la pantalla en la Figura 4.2.2 y se realizan los cálculos considerando como altura promedio de un ciudadano peruano 1.60 metros, pues la estatura masculina promedio es de 1.65 metros y la femenina de 1.52 metros (Asgari et al., 2020).

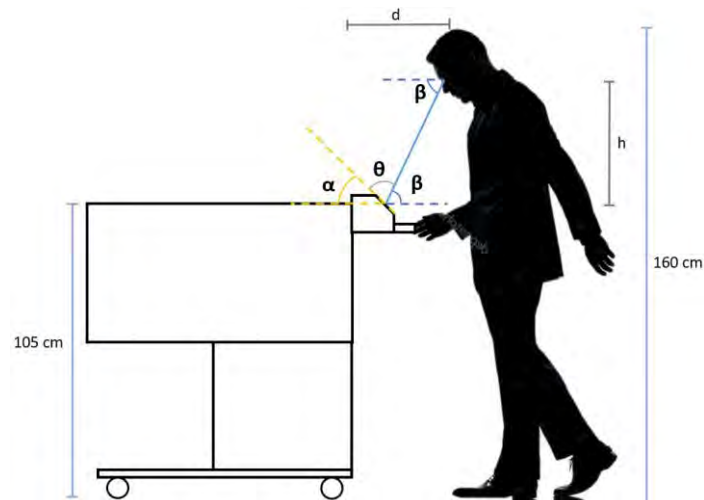


Figura 4.2.2 Diagrama de posición corporal al visualizar la pantalla (Elaboración propia)

$$h = 160 - 105 = 55 \text{ cm} \text{ y } d = 25 \text{ cm}$$

$$\tan(\beta) = \frac{h}{d} \text{ por lo cual } \beta = 65.56^\circ$$

Se desea que el usuario visualice el contenido de la pantalla en un ángulo entre 80° y 110° , por ello tomando $\theta = 90^\circ$, se obtiene $\alpha = 25^\circ$ como se muestra en la Figura 4.2.3; sin embargo, para procurar que la carcasa tenga en total ancho menor a 15 cm, se selecciona $\alpha = 35^\circ$ con lo cual $\theta = 100^\circ$. Esto brinda pues brinda un mayor margen horizontal para posicionar la pantalla en la carcasa.

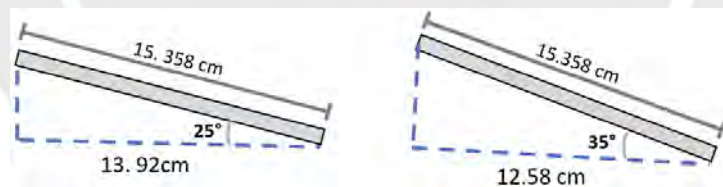


Figura 4.2.3 Dimensiones según la inclinación de la pantalla (Elaboración propia)

Asimismo, se toma en cuenta el ángulo de visión que se observa en la Figura 4.2.4 para verificar si la inclinación seleccionada para la pantalla permite visualizar el contenido en un rango de visualización cómodo para el usuario. El diagrama para este análisis se visualiza en la Figura 4.2.5.

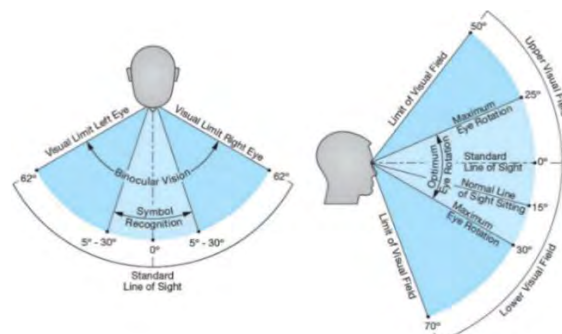


Figura 4.2.4 Campos de visión y ángulos de rotación del ser humano (Extron Electronics, 2015)

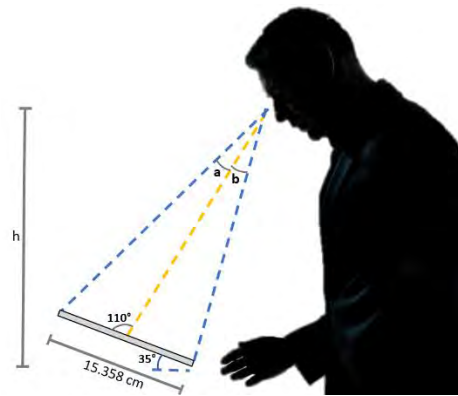


Figura 4.2.5 Campo de visión del usuario para observar la pantalla (Elaboración propia)

En la Figura 4.2.6 se muestra el gráfico de la geometría necesaria para determinar los ángulos de visión requeridos durante la compra del usuario. Se observa que estos son 6.6° y 6.9° , los cuales son menores a 25° . Esto indica que para que el usuario visualice todos los puntos de la interfaz requerirá de una rotación ocular menor a 25° , lo cual se encuentra en el rango óptimo.

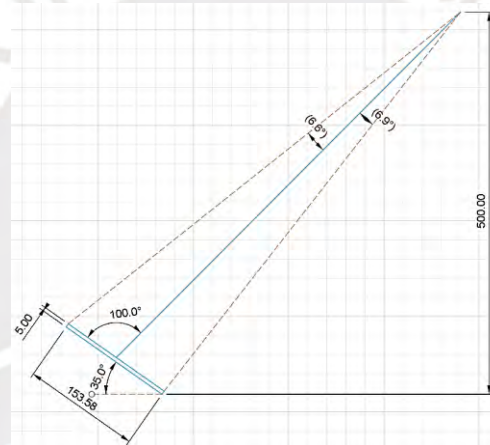


Figura 4.2.6 Geometría del campo de visión del usuario para observar la pantalla (Elaboración propia)

4.2.2. Respuesta al usuario

Una vez que se genera la respuesta al usuario, si la opción de asistencia por voz se encuentra activada se emitirán los sonidos a través de altavoces incorporados en el carro. Por ello, seleccionan los altavoces para emitir la respuesta al usuario a partir de la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Tabla comparativa de altavoces (Elaboración propia)

	JBL Go 2	Parlante 1 W	EWA A106MAX	Módulo Waveshare
Potencia nominal	3 W	1 W	8 W	5 W
Impedancia	-	8 ohm	-	8 ohm
Dimensiones	71.2 x 86 x 31.6 mm	Φ 26 mm	Φ 67.5 x 60 mm	92 x 36 x 21 mm
Grado de protección	IPX7 (resistente al agua hasta 1 m por 30 minutos)	Ninguno	IPX5 (resistente a chorros de agua de cualquier dirección)	Ninguno
Comunicación	Bluetooth	Alámbrica	Bluetooth	4 PIN speaker header
Precio	\$39.95	S/ 4.00	\$ 29.99	\$ 12.00
Enlace	Parlante 1W	Parlante 1W	EWA A106MAX	Módulo Waveshare

Se seleccionan altavoces con potencia nominal mayor a 3 W para que el sonido sea claramente audible dentro del supermercado. Para garantizar una transmisión de audio estable y evitar pérdidas de conexión por interferencias, se optó por altavoces con conexión por cable al controlador (Verma et al., 2015). Tras evaluar además la potencia, dimensiones y precio se selecciona el altavoz Waveshare 8Ω 5 W.

En la Figura 4.2.7 se muestra el diagrama de conexiones del sistema de interacción.



Figura 4.2.7 Diagrama de conexiones del subsistema de interacción (Elaboración propia)

4.3. Subsistema de compra de productos

En este subsistema se encuentran las funciones que intervienen directamente durante el proceso de compra. Se realizan cálculos y selección de componentes para mejorar la experiencia de compra.

4.3.1. Identificación de productos

Se requiere que la identificación de productos por medio del código de barras se realice a través de cámaras para que estas detecten el producto independientemente de la posición en la cual el usuario lo ingrese a la cesta de compras. En la Tabla 4.6 se visualiza la comparación de cámaras realizada.




Tabla 4.6 Tabla comparativa de cámaras (Elaboración propia)

	Requisitos	Pixy 2.1 Vision Image Sensor 	Logitech StreamCam 	Raspberry Pi Camera Module 3 	Raspberry Pi Camera Module 3 Wide 
Voltaje de entrada		5 V - 10 V DC	5 V DC	-	-
Consumo corriente		140 mA	-	250 mA	250 mA
Resolución	> 1 MP	1.27 MP	2.1 MP	11.9 MP	11.9 MP
Frec. de muestreo	>50 FPS	60 FPS	60 FPS	50 FPS	50 FPS
Interfaz de comunicación		I2C, UART, SPI, USB	USB 3.1	CSI -2(Camera Serial Interface)	CSI -2(Camera Serial Interface)
Campo de visión horizontal	> 70°	80°	70°	66°	102°
Campo de visión vertical	> 70°	40°	43°	41°	67°
Enfoque		Ajustable	Automático	Automático	Automático
Dimensiones		44x 48 x 15mm	66 x 58 x 48 mm	25 x 24 x 11.5 mm	25 x 24 x 12.4 mm
Peso		10 g	150 g	4 g	4 g
Fabricante		Charmed Labs	Logitech	Raspberry	Raspberry
¿Disponible localmente?		No	Sí	Sí	Sí
Precio		\$ 69.95	S/ 560.00	\$ 25	\$ 35
Enlace		Pixy 2.1	StreamCam	Datasheet	Datasheet

Se requiere que la frecuencia de muestro sea de mínimo 50 frames por segundo pues el ingreso de los productos a la cesta involucra movimientos rápidos, este requerimiento lo satisfacen las 3 alternativas. Asimismo, se trabajará con 6 cámaras distribuidas alrededor la cesta, por lo que es imprescindible que estas abarquen el mayor campo de visión posible. En consecuencia, se selecciona la Pi Cámara V3 Wide debido a que es la que cuenta con un mayor campo de visión para contar con una mayor área de escaneo.

Se requiere de un adaptador que permita conectar estas 6 cámaras al computador, por ello en la Tabla 4.7 se realiza la selección de este. Dado que se utilizarán Pi Camaras V3 Wide, se puede trabajar de manera adecuada con el adaptador multicámara para Raspberry Pi 3 dada su compatibilidad. Se selecciona este adaptador debido a la diferencia de precios y dimensiones compactas. La Jetson Xavier NX cuenta con 2 puertos CSI (Camera Serial Interface), por lo que se coloca un adaptador a cada puerto y se trabajaría en simultáneo con 2 cámaras y de manera secuencial con 3 por cada adaptador.

Tabla 4.7 Tabla comparativa de módulos adaptadores multicámara (Elaboración propia)

	Adaptador e-CAM30A_HEXCUTX2	Adaptador multicámara para Raspberry Pi 3	Seed Studio A205 Carrier Board
			
Voltaje de entrada	5 VDC	5 VDC	13-19 VDC
Corriente	1.85 A	-	8 A
Cantidad máxima de cámaras	6	4	6
Dimensiones	75.03 x 40.69 mm	60 x 40 mm	170 x 100 mm
Dispositivo para el cual fue diseñado	NVIDIA® Jetson AGX Xavier™/Jetson™ TX2 haciendo uso de la cámara e-CAM30A_CUMI0330_MOD	Raspberry Pi Model A/B/B+, Pi 2 and Raspberry Pi 4B, 3,3B+	NVIDIA Jetson Nano / Xavier NX/ TX2 NX
¿Compatible Jetson Xavier NX?	Sí	Sí	Sí
Funcionamiento de cámaras	Simultáneo y secuencial	Secuencial	Simultáneo y secuencial
Precio	\$ 1499	\$ 50	\$ 400
Enlace	e-CAM30A_HEXCUTX2	Adaptador Raspberry Pi Dimensions: Arducam	A205 Carrier board

Se distribuyen las cámaras alrededor del borde superior de la cesta para detectar códigos de barras de productos. Se verifica que el ángulo de visión de las cámaras cubra adecuadamente el área delimitada por el borde de la cesta. En este caso, el ángulo de visión horizontal de la cámara Pi Cámara V3 Wide es de 102° (Raspberry Pi, 2024), lo cual genera el área de escaneo observada en la Figura 4.3.1.



Figura 4.3.1 Campo de visión de las cámaras en el borde de la cesta (Elaboración propia)

Sin embargo, puede darse el caso de que el código de barras del producto ingrese orientado hacia la base del carro, por lo que las cámaras laterales no podrían visualizarlo. Por ello, se cuenta con el sensor de peso, el cual indicará si se ingresó un producto no reconocido a la cesta para que el usuario pueda volver a ingresarlo al carro de compras. Estos sensores se colocan en la parte inferior de la cesta.


En la Tabla 4.8 se comparan sensores de peso en función de su capacidad de carga y dimensiones. El carro debe soportar un peso máximo de 40 kg, en este aspecto los sensores evaluados cumplen con este requisito, incluso el modelo FZ1439, que podría emplearse en una configuración de dos unidades. No obstante, un factor clave en la selección es la altura del sensor, ya que debe colocarse en la base de la cesta, cuya altura es de 10 mm. Con este criterio, se elige el sensor SEN-10245, que no solo cumple con las restricciones dimensionales, sino que también ofrece una alta precisión en el rango de mV/V, lo que lo hace adecuado dado que los productos de supermercados pesan más de 1 gramo.

Tabla 4.8 Tabla comparativa de sensores de peso (Elaboración propia)

	Requisitos	Celda de Carga 50Kg YZC-1B 	Celda de Carga 50Kg FZ1439 	Celda de Carga 50Kg Sen-10245 
Voltaje de excitación		10 – 15 V	5– 10 V	<= 10 V
Peso máximo	>=40	50 kg	20 kg	50 kg
Sensibilidad de salida		2.0±0.15 mV/V	1.0±0.1 mV/V	1.0±0.1 mV/V
Error combinado		<+-0.030 %RO	±0.03% FS	0.05 mV/V
Temperatura de operación	0°C a 40°C	-35°C a 80°C	-10°C a 50°C	0°C a 50°C
Dimensiones	Alto menor a 10mm	130 x 30 x 22 mm	80 x 12.7 x 12.7 mm	34 x 34 x 7.8 mm
¿Disponible localmente?		Sí	Sí	Sí
Precio		S/ 25.00	S/ 25.00	S/ 19.20
Enlace		YZC-1B	VL53LIX	SEN-10245

El sensor seleccionado utiliza el transmisor HX711 para amplificar la señal eléctrica que emite, debido a que su voltaje de salida se encuentra en mV, y transmitirla al controlador. Es decir, este transmisor realiza internamente las tareas de acondicionamiento y conversión analógica/digital de la señal (AVIA Semiconductor, s.f.). A continuación, se muestra la tabla 4.9 con sus características detalladas.

Tabla 4.9 Tabla de detalles técnicos del módulo HX711 (Elaboración propia)

Módulo HX711	
Voltaje de entrada	5V DC
Consumo de corriente	<10mA
Resolución de conversión A/D	24 bit (16777216 cuentas)
Frecuencia de lectura	80 Hz
Dimensiones	38 x 21 x 10 mm
¿Disponible en el mercado local?	Sí
Precio	S/ 12.00

Dado que la base de la cesta es de 80 x 50 x 1 cm y se cuenta con inclinación en un plano de la base para permitir el apilado de los carros como se observa en la Figura 4.3.2, se opta por utilizar 2 sensores de peso, con lo cual estos quedan posicionados al centro de cada plano, perpendiculares a su inclinación como se observa en la Figura 4.3.3 y las conexiones se realizarían como se observa en la Figura 4.3.4.

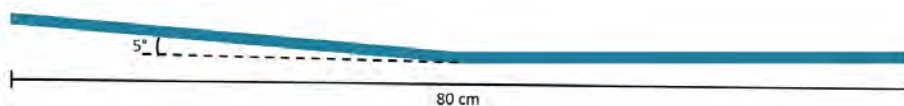


Figura 4.3.2 Diagrama de la base de la cesta de compras

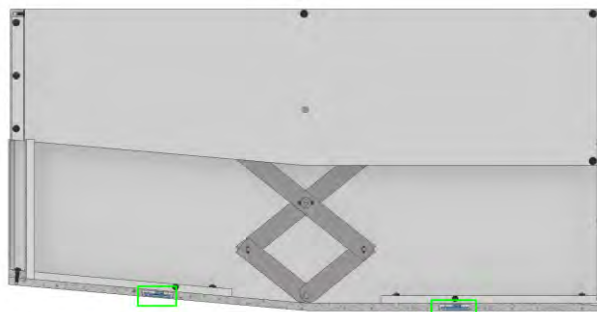


Figura 4.3.3 Ubicación de los sensores de peso en el ensamblaje general (Elaboración propia)

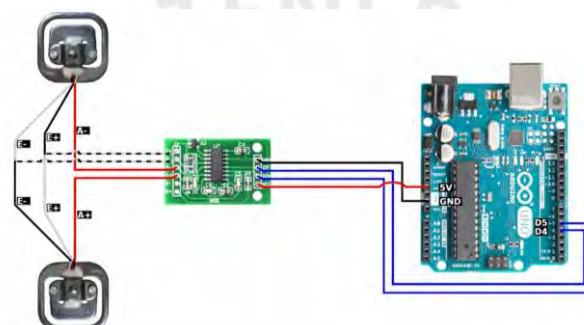





Figura 4.3.4 Diagrama conexiones entre celdas de carga y módulo HX711 (Luuk, 2020)

Asimismo, para evitar problemas debido a la falta de reconocimiento de un código de barras por parte de las cámaras y permitir la consulta de precios en el supermercado, se utiliza un lector de código de barras el cual es seleccionado a partir de la Tabla 4.10. El escáner debe de permitir un escaneo omnidireccional para facilitar el escaneo a los usuarios, por lo que se descarta el lector YHDAA. Se selecciona el lector FM430 debido a su tamaño compacto, lo cual es crítico en el diseño.




Tabla 4.10 Tabla comparativa de lectores de código de barras (Elaboración propia)

	Lector alámbrico YHDAA 	Escáner FM430 Barracuda 	Lector CBX-P20 
Voltaje	5 – 3.3 V	5 V	5 V
Operating current	40 mA	276,8 mA	245 mA
Tipo de simbologías	1D	1D y 2D	1D y 2D
Tipo de escaneo	Bidireccional	Omnidireccional	Omnidireccional
Fuente de luz	Láser 650 nm	LED	LED
Modos de escaneo	Manual y continuo	Manual y continuo	Manual, continuo y sensor
Velocidad de codificación	300 escaneos/s	60 escaneos/s	-
Profundidad de lectura	2 – 85 mm	13 mil: 55-360 mm 5 mil: 70-180 mm 10 mil: 50-170 mm QR (15mil): 40-210 mm	13mil ENA: 0mm-130mm, 5mil code 39: 0mm-60mm, 20mil QR: 0mm-70mm
Interfaz	USB / RS232 / PS2 / TTL	USB	USB
Dimensiones	180 x 60 x 50 mm	41.5 x 49.5 x 24.3 mm	75 x 70 x 145 mm
Precio	S/ 90	S/ 530	S/ 120
Enlace	YHD-1100L	FM430 Barracuda	OBZ scanner

4.3.2. Desplazamiento vertical de la cesta de compras





Por otro lado, se requiere supervisar la elevación de la cesta de compras, por ello se utiliza un sensor de distancia láser. En la Tabla 4.11 se muestra la comparación de sensores de distancia láser. Los sensores TOF VL53L0X y TOF VL53L1X permiten medir la elevación de la cesta de compras de acuerdo con el rango identificado; sin embargo, debido a la precisión se selecciona el sensor TOF VL53L1X.

Tabla 4.11 Tabla comparativa de sensores de distancia (Elaboración propia)

	Requisitos	Sensor de distancia TOF VL53L0X 	Sensor de distancia TOF VL53L1X 	Sensor de distancia óptico VL6180X 
Voltaje de entrada		3 - 5 V DC	3 - 5 V DC	3 - 5 V DC
Consumo de corriente		10 mA	16 mA	10 mA
Rango de medición	300 - 1000	50 – 1200 mm	40 – 4000 mm	5 - 100 mm
Precisión		+/- 30 mm	+/- 20 mm	-
Interfaz digital		I2C 400kHz	I2C 400kHz	I2C 400kHz
Tipo de láser		Clase 1 (Estándar IEC 60825-1:2014)	Clase 1 (Estándar IEC 60825-1:2014)	-
Dimensiones		10.5 x 13.3 x 1 mm	10.5 x 13.3 x 1 mm	4.8 x 28 x 1 mm
¿Disponible localmente?		Sí	Sí	Sí
Precio		S/ 69.00	S/ 75.00	S/ 26.00
Enlace		VL53L0X	VL53L1X	VL6180X

Para evitar que la cesta exceda sus límites de ascenso o descenso, se instalan sensores de final de carrera que envían una señal al alcanzar la posición límite, previniendo posibles fallos. La Tabla 4.12 muestra la evaluación de sensores, seleccionándose un sensor de final de carrera mecánico, ya que ofrece una mayor vida útil en comparación con los ópticos (Naylamp Mechatronics, s.f.). Entre las opciones mecánicas, se elige el sensor Creality por su diseño compacto y por incluir circuitos de protección.

Tabla 4.12 Tabla comparativa de sensores de final de carrera (Elaboración propia)

	Sensor mecánico Creality 	Sensor mecánico RAMPS 	Final de carrera mini 3 pines 1A 	Sensor óptico RAMPS 
Voltaje de entrada	5 V DC	5 V DC	5 V DC	5 V DC
Tipo de límite	Switch	Switch	Switch	Sensor infrarrojo
Conector	3 pines (5V, SALIDA, GND)	4 pines (5V, 0V, 0V, Salida)	3 pines (5V, SALIDA, GND)	3 pines (5 V, GND y Salida)
Dimensiones	20 x 20 x 1.6 mm	40 x 15 x 1.6 mm	13 x 5.8 x 6.3 mm	30 x 11 x 6.3 mm
¿Disponible localmente?	Sí	Sí	Sí	Sí
Precio	S/ 10.00	S/ 6.00	S/ 1.20	S/ 8.00
Enlace	SFC mecánico	SFC mecánico	Final de carrera mini	SFC óptico

4.4. Subsistema de navegación

Se requiere que el sistema brinde herramientas para la navegación del usuario dentro del supermercado y la localización de productos en el local, esto cobra especial importancia si el usuario tiene discapacidad visual parcial. Por ello, se requiere de una localización precisa del carro dentro del local y sensores del entorno para advertir la presencia de objetos u obstáculos.

En inicio, se selecciona el sensor de localización por ancho de banda elegido en la matriz de funciones, para determinar la ubicación del carro de compras dentro del local. Se realiza una comparación entre tecnologías similares en la Tabla 4.13. Se selecciona el sistema de localización de Pozyx debido a la precisión en la ubicación, la cual es importante para realizar indicaciones de desplazamiento adecuadas a los usuarios. Además, su alcance de 100 metros resulta adecuado para el entorno de un supermercado, ya que las antenas (Anchors) pueden colocarse estratégicamente según las necesidades del espacio.

Tabla 4.13 Tabla comparativa dispositivos UWB (Elaboración propia)

	Requisitos	Identificador UWB Zebra	Tag industrial UWB Pozyx con anchors(antenas)	Sensor y tag Impixon
Frecuencia de operación		6,35 - 6,75 GHz	6,5 GHz	6,4 GHz
Alimentación		Baterías	Baterías	Baterías
Dimensiones		40 x 60 x 1 mm	50 x 42 x 15 mm	170 x 120 x 17 mm
Precisión de posición	< 40 cm	<30cm	10 – 30 cm	-
Alcance		200m	100m	50 m
Protección IP		IP67	IP66/67	IP68
¿Disponible localmente?		No	No	No
Enlace		UWB Zebra	Tag: Tracking tag UWB Pozyx	UWB inpixon

En la Figura 4.4.1 se observa el funcionamiento en conjunto de estos dispositivos de localización. Para implementar el sistema, es necesario adquirir tanto los tags de posicionamiento como los *anchors* de Pozyx, los cuales operan como antenas receptoras y transmisoras de señal.

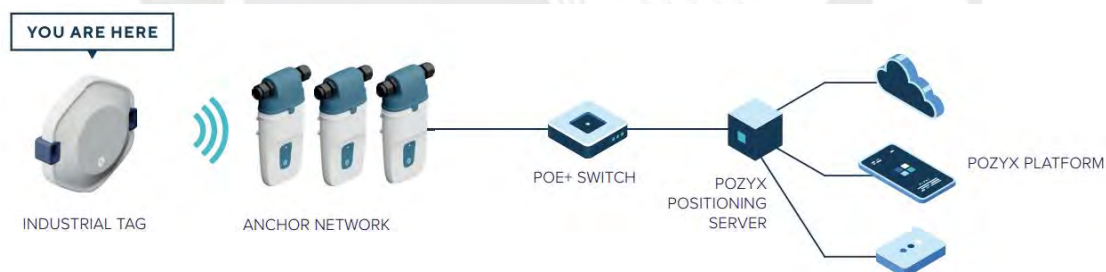


Figura 4.4.1 Integración de dispositivos para localización UWB (Pozyx, 2022)

Asimismo, se debe garantizar que los usuarios no choquen con obstáculos dentro del local por lo que el carro de compras emitirá sonidos cuando se detecte cercanía de objetos a la parte frontal del carro. Esta herramienta es de gran importancia para aquellas personas con discapacidad visual parcial que tienen dificultad para identificar adecuadamente su entorno o percibir. Se utilizan sensores de ultrasonido para identificar esos obstáculos debido a su precisión, bajo costo y facilidad de uso. La comparación de estos sensores se encuentra en la Tabla 4.14. Dado que se requiere detectar objetos al menos a 2 cm del carro, se descarta el sensor JSN-SR04T. Por otro lado, los sensores HC-SR04 y US-100 cuentan con atributos semejantes, por ello debido al factor económico se selecciona el sensor HC – SR04. Este sensor tiene un mejor rendimiento en un ángulo de trabajo menor a 30° medidos desde la vertical hacia cada lado como se observa en la Figura 4.4.2.(Handson Technology, s.f.).

Tabla 4.14 Tabla comparativa de sensores de ultrasonido (Elaboración propia)

	Requisitos	Sensor HC – SR04	Sensor JSN - SR04T	Sensor US -100
Voltaje de operación		5 V DC	5 V DC	5 V DC
Corriente de trabajo		15 mA	30 mA	15 mA
Rango de medición	2 cm (límite inferior)	2 – 450 cm	25 – 450 cm	2 – 450 cm
Precisión		+/- 3mm	+/- 0.3mm	+/- 3mm
Ángulo de apertura		15°	<50°	15°
Frec. de ultrasonido		40KHz	40KHz	40KHz
Modos de comunicación		TRIGGER	TRIGGER	TRIGGER y UART
¿Resistente al agua?		No	Sí	No
Dimensiones		45 x 20 x 15 mm	Tarjeta: 41 x 28.5 mm Transductor: D25 x L19mm	45 x 20 x 15 mm
¿Disponible en el mercado local?		Sí	Sí	Sí
Precio		S/ 8.00	S/ 55.00	S/ 24.00
Enlace		HC-SR04	JSN-SR04T	US-100

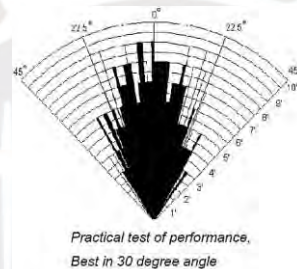


Figura 4.4.2 Eficiencia de medida de acuerdo con el ángulo HC-SR04 (Handson Technology, s.f.)

Se considera el funcionamiento de los sensores de ultrasonido en 30° para un óptimo funcionamiento, se debe determinar la distribución óptima de estos para detectar obstáculos entorno al usuario. En un inicio, se analiza una distribución horizontal como se muestra en la Figura 4.4.3. Se observa que, si se utilizan 3 sensores alineados, a 103.9 mm del borde de la cesta de compras se llega a detectar obstáculos frontales adecuadamente. Este rango es adecuado para la persona con discapacidad visual porque le permite detenerse al menos a 10 cm de un obstáculo; sin embargo, tiene un ángulo de análisis de 60° por lo que al realizar los giros no se analizan obstáculos en los extremos, lo cual podría causar choques del usuario. Por ello, se opta por la distribución que se muestra en la Figura 4.4.4. la cual abarca un ángulo de análisis de 93.52°, el cual permite brindar mayor protección.

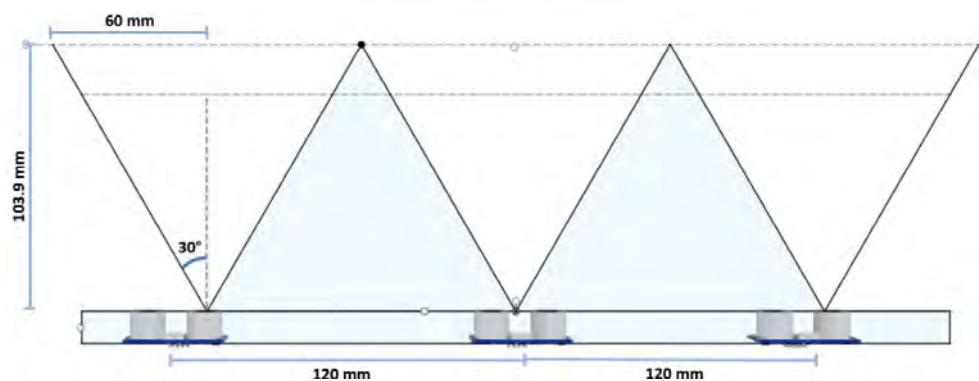


Figura 4.4.3 Distribución lineal de sensores de ultrasonido (Elaboración propia)

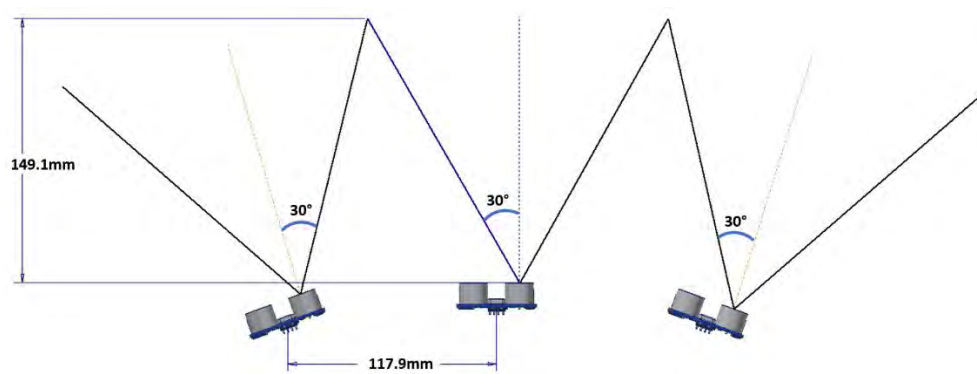


Figura 4.4.4 Distribución con giro de sensores de ultrasonido (Elaboración propia)

4.5. Subsistema mecánico

En esta sección se realizan los cálculos mecánicos y la selección de materiales para los componentes del carro de compras inteligente.

En un inicio, se realiza la selección del material de fabricación de la cesta de compras en la Tabla 4.15. El polietileno de alta densidad (HDPE) destaca por su alta resistencia al impacto y a la humedad, requisitos clave del proyecto. Asimismo, el polipropileno y el polietileno de alta densidad son livianos, lo cual es necesario para que la cesta no sea pesada y no requiera de gran fuerza para ser empujada por el usuario. En base al análisis, se selecciona el polietileno de alta densidad (HDPE) por su resistencia, baja densidad y capacidad para soportar el peso diario de los productos sin dañarse.

Tabla 4.15 Tabla comparativa de materiales para fabricación de la cesta (Elaboración propia)

	Requisitos	Polipropileno (PP)	Polietileno de alta densidad (HDPE)	Poliestireno (PS)
Resistencia a la tracción		30 – 45 MPa	20 – 40 MPa	30 – 50 MPa
Módulo de elasticidad		1200 – 1800 MPa	900 – 1800 MPa	2000 – 3500 MPa
Resistencia al impacto		15 – 30 J/m	30 – 130 J/m	5 – 10 J/m
Resistencia a la compresión		30 – 40 MPa	30 – 50 MPa	35 – 50 MPa
Resistencia a la humedad	Alta	Media (baja absorción de agua)	Alta (Impermeable)	Baja
Densidad		0.9 g/cm ³	0.95 g/cm ³	1.04 g/cm ³
Temperatura de fusión	> 100° C	130 – 171 °C	120 – 140 °C	70 – 90 °C
Temperatura de deformación bajo carga	> 50° C	80 – 100 °C	50 – 80 °C	70 – 90 °C

4.5.1. Diseño mecánico del subsistema de carga de peso

En esta sección se evalúa el comportamiento mecánico de la base de la cesta de compras, la cual como requerimiento debe de soportar como mínimo 40 kg en peso de las compras sin deformarse. Se realiza el análisis de estabilidad de esta cesta con el propósito de hallar las distancias de separación de los soportes que brinden mayor estabilidad. Luego se procede a simular el comportamiento de la base bajo condiciones de carga para analizar la distribución de esfuerzos, el factor de seguridad y las deformaciones a través de técnicas de simulación y análisis por elementos finitos (FEA).

Se presenta el diagrama de cuerpo libre de la base de la cesta de compras en la Figura 4.5.1 asumiendo que de manera ideal el peso de los productos se encuentra repartido de manera uniforme.

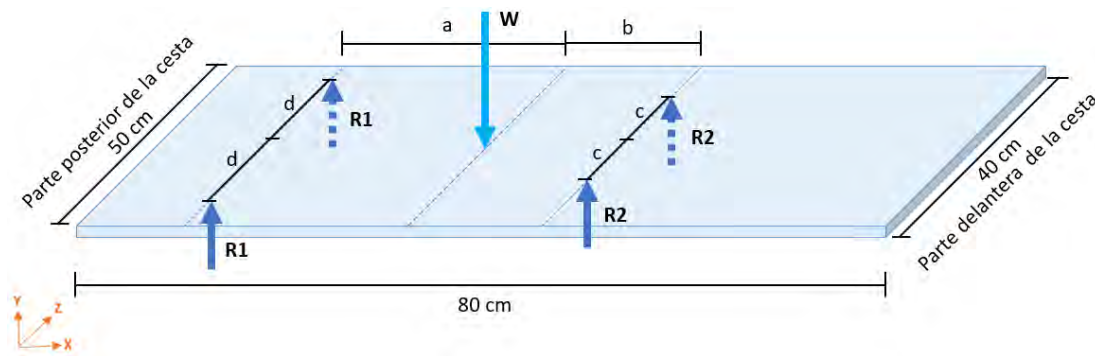


Figura 4.5.1 Diagrama de cuerpo libre de la base de la cesta (Elaboración propia)

Inicialmente, se realiza el análisis de fuerzas en el plano XY como se observa en la Figura 4.5.2 y se plantean las ecuaciones de equilibrio.

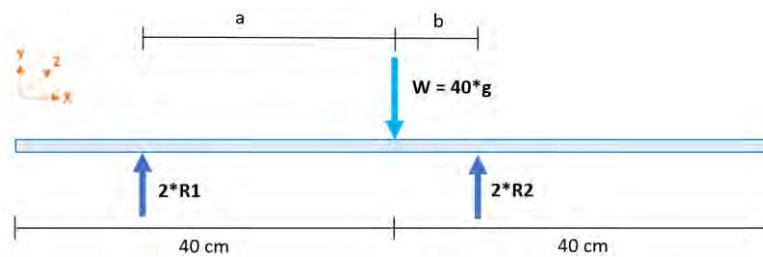


Figura 4.5.2 Diagrama de cuerpo libre de la base en el plano XY (Elaboración propia)

$$\Sigma F_y: 2R_1 + 2R_2 = W$$

$$\Sigma M_z: 2R_1 \times a = 2R_2 \times b \quad \text{con } a + b < 80 \text{ cm}$$

La estructura del carro de compras está diseñada para permitir el almacenamiento de múltiples carros al posibilitar que se encajen unos dentro de otros hasta la mitad de su longitud. Por ello, el parámetro de soporte frontal se ha establecido en $b = 0 \text{ cm}$, de modo que los soportes frontales lleguen únicamente hasta la mitad del carro de compras. Además, en la parte posterior debe haber espacio para que las personas con sillas de ruedas estén cómodas, por ello se define $a \leq 35 \text{ cm}$. Se seleccionan $a = 32 \text{ cm}$ y $b = 2 \text{ cm}$, en base a lo cual se realizará el análisis de esfuerzos.

Se selecciona un espesor de la base de 10 cm en base a las pruebas realizadas a través del Análisis por Elementos Finitos (FEA) del sistema que soporta el peso (base, componente de acople y tornillo sin fin) como se observa en la Figura 4.5.3. El análisis se realizó aplicando una carga de 40 kg (equivalente a 392 N), correspondiente al peso máximo que la cesta debe soportar. Los resultados obtenidos permiten evaluar la deformación, los esfuerzos y el factor de seguridad del sistema estructural.

En inicio, en la Figura 4.5.4 se observa la deformación de la base al aplicarse el peso. La deformación total máxima de la base es de 0.0025951 m (2.6 mm). Este valor se encuentra en el extremo libre de la base debido a la distribución de la carga aplicada. La deformación disminuye progresivamente hacia la región central, donde se encuentra el punto de soporte (tornillo sin fin y componente de acople), confirmando que el diseño es adecuado para minimizar deflexiones excesivas.

En la Figura 4.5.5 se observan los esfuerzos generados por la carga a través del Esfuerzo Equivalente de Von Mises. El esfuerzo máximo generado en la base es de 0.011253 MPa, localizado principalmente en la zona de acople entre la base y el tornillo sin fin. Este valor es significativamente menor en comparación con el límite elástico del material (HDPE), lo cual indica que la base tiene un riesgo bajo de experimentar fallas por deformación plástica o fractura bajo la carga máxima.

Finalmente, se analiza el factor de seguridad de la cesta, el cual presenta un valor mínimo de 4.01984 en la zona crítica de acople (Figura 4.5.6). Esto indica que la base es 4 veces más resistente que las cargas aplicadas, lo cual proporciona un margen adecuado de seguridad estructural. El resto de la estructura presenta factores de seguridad mayores, lo cual indica que el peso al cual se encuentra sometido es seguro porque es menor que el peso máximo que puede de soportar (Hibbeler, 2011, p. 46).

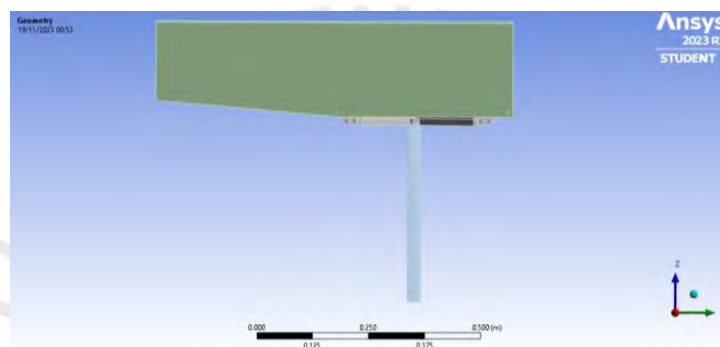


Figura 4.5.3 Subsistema que soporta el peso de las compras (Elaboración propia)

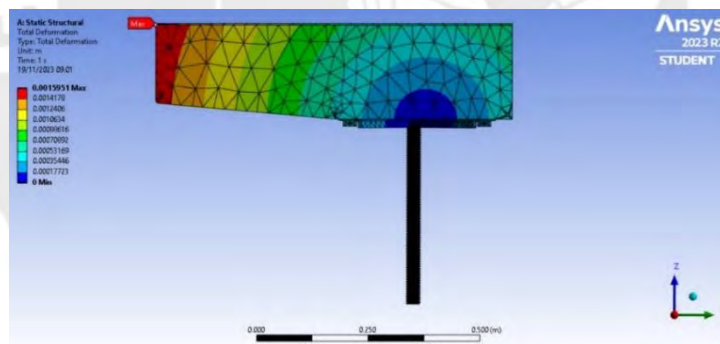


Figura 4.5.4 Diagrama de deformación debido al peso (Elaboración propia)

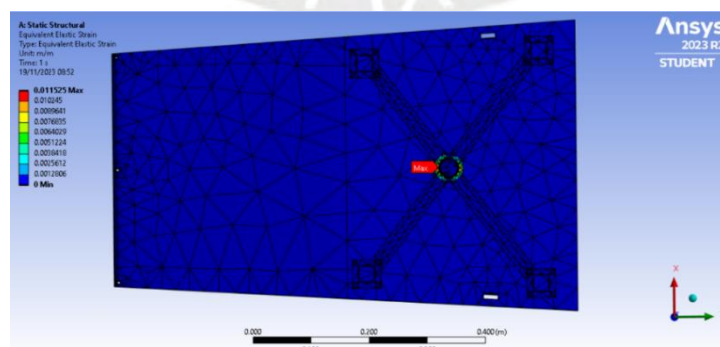


Figura 4.5.5 Diagrama de esfuerzos debido al peso (Elaboración propia)

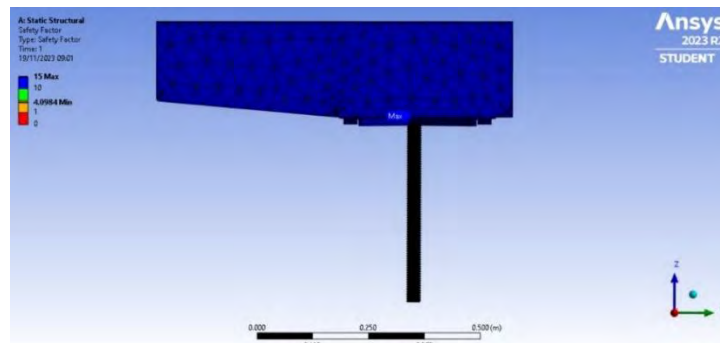


Figura 4.5.6 Análisis del factor de seguridad (Elaboración propia)

4.5.2. Análisis de resistencia del subsistema de soporte de carga

A continuación, se analiza la falla por pandeo del tornillo sin fin cuando la cesta se encuentra en su máxima elevación y soporta el máximo peso permitido, debido a que este es el caso crítico.

En la Figura 4.5.7, se observa el análisis de deformación total del tornillo sin fin bajo una carga máxima de 40 kg. La deformación máxima registrada es de $1.4132e-6$ m, lo que indica una ligera deformación a lo largo del tornillo sin fin, siendo prácticamente imperceptible en términos estructurales. Esto sugiere que el tornillo sin fin es capaz de soportar la carga sin experimentar deformaciones significativas.

En la Figura 4.5.8, se presenta el análisis del factor de seguridad, donde se observa que el tornillo mantiene un factor de seguridad constante de 15, lo cual indica que el diseño no presenta riesgos de falla bajo las condiciones de carga establecidas. El valor elevado del factor de seguridad respalda la integridad estructural del componente, asegurando la operación segura de este.

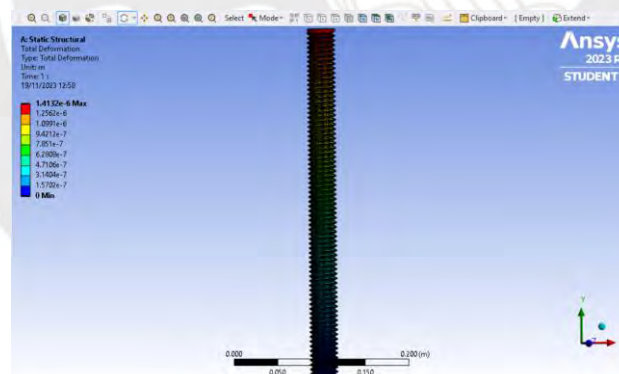


Figura 4.5.7 Análisis de la deformación del tornillo sin fin (Elaboración propia)

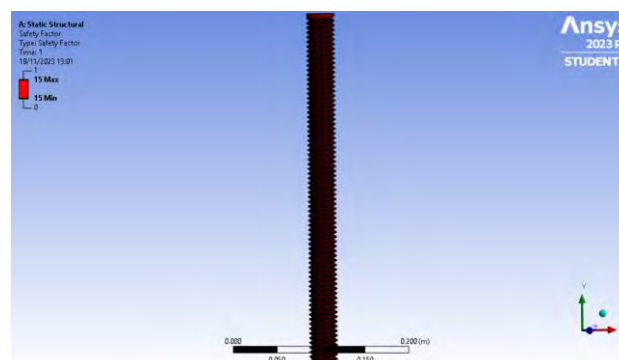


Figura 4.5.8 Análisis del factor de seguridad del tornillo sin fin (Elaboración propia)

4.5.3. Mecanismo de modificación de cesta de compras

Se realiza el diseño del mecanismo de modificación del alto de la cesta de compras para que esta se pueda adaptar al ser usada por personas en silla de ruedas. Se utiliza un mecanismo de tijera como se muestra en la Figura 4.5.9. Dado que se requiere que se este sistema pueda plegarse totalmente para no ocupar espacio, la separación entre pines de cada brazo debe de ser como se muestra en la Figura 4.5.10. A continuación se realiza el cálculo de las dimensiones de acuerdo con este diagrama.



Figura 4.5.9 Mecanismo elevador de tijera (Elaboración propia)

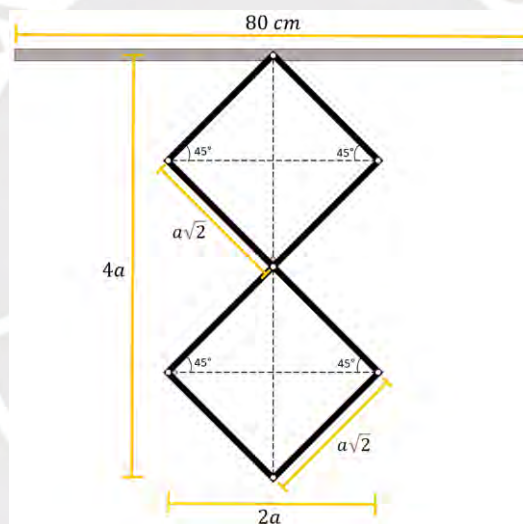


Figura 4.5.10 Dimensiones mecanismo elevador de tijera (Elaboración propia)

La cesta debe de variar su alto en 20 cm y considerando que cuando el mecanismo de tijera se encuentra contraído, este tiene una altura de 8cm, la altura del mecanismo totalmente extendido debe ser superior a 28cm. Con ello $4a \geq 28 \text{ cm}$, lo cual da como resultado $a \geq 7 \text{ cm}$. Si se considera un $a = 7 \text{ cm}$, cuando el mecanismo de tijera se encuentra contraído su ancho es de $2 * a\sqrt{2} = 19.799 \text{ cm}$, el cual es adecuado porque es menor al ancho de la cesta. Por tanto, la separación entre agujeros de las piezas sería de $a\sqrt{2} = 9.899 \text{ cm}$ en las 4 de menor longitud y $2 * a\sqrt{2} = 19.799 \text{ cm}$ en las 2 de mayor longitud. Sin embargo; para facilitar la fabricación de estos componentes, se selecciona como separaciones 10 cm y 20 cm respectivamente, lo cual genera una altura en expansión total de $\frac{10}{\sqrt{2}} * 4 = 28.28 \text{ cm}$.

Las barras deben de ser de máximo 2 mm de espesor para que puedan ser localizadas en el interior de las carcasas laterales de la cesta, por ello se usan barras metálicas de acero SAE 1045, el cual brinda un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo (Cia. General de Aceros S.A, s.f.).

Asimismo, se requiere que la cesta mantenga su altura a menos que el usuario desee variarla, por ello se utilizan *ball plungers*, los cuales permiten variar la posición bajo presión en situaciones de poca carga, como lo es la fuerza aplicada por una persona para descender la cesta (Monroe Engineering, s.f.-b). Los ball plungers son resistentes a vibraciones y no requieren de componentes complementarios para su funcionamiento, lo cual los hace adecuados para el proyecto (Stock Drive Products Sterling Instrument, s.f.). En la Figura 4.5.11 se visualizan las partes de este mecanismo.

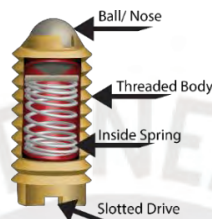


Figura 4.5.11 Partes de un ball plunger (Monroe Engineering, s.f.-a)

La fuerza de empuje máxima de un varón es de 227 N sentado y 251 N de pie, mientras que de una mujer es 96 N sentada y 140 N de pie (Das & Wang, 2004). Se desea que la fuerza de empuje para el descenso de la cesta no requiera de esfuerzo por parte del usuario, por ello los dos émbolos de bola colocados en el mecanismo de modificación de altura deben permitir el movimiento con una fuerza de empuje entre 35 y 50 N para que, al aplicarla en ambos lados de la cesta, se requiera entre 70 y 100 N en total. A continuación, se realizan cálculos para determinar la fuerza normal para desenganchar el émbolo de bola del orificio de retención en base a la fuerza tangencial del usuario. Se calcula esta fuerza (Figura 4.5.12) para ángulos de avellanado de 60° y 90° pues son utilizados de manera convencional.

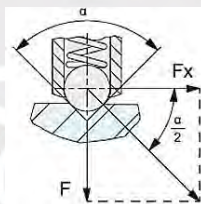


Figura 4.5.12 Cálculo de desenganche émbolo de bola (Wixroyd, s.f.)

$$F_x = \frac{F}{\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$$

Se estableció que $F_x \in [35, 50]$

Para $\alpha = 60^\circ$: $F \in [20.21, 28.87] N$

Para $\alpha = 90^\circ$: $F \in [35, 50] N$

Se observa que con $\alpha = 90^\circ$ la fuerza normal que debería requerir el émbolo para desengancharse se encuentra entre 35 y 50 N, mientras que con $\alpha = 60^\circ$, la fuerza se encuentra entre 20.21 y 28.87 N.

Como se observa en la Figuras 4.5.13 y 4.5.14, los émbolos que requieren de una mayor fuerza normal tienen dimensiones mayores, por ello se escoge un avellanado de 60° para que las dimensiones del émbolo de bola sean menores. Con ello, se selecciona el émbolo S707CBMSL1222 pues la fuerza normal F2 es la más cercana al rango F deseado. Este es un plunger métrico de medidas M8 x 16 mm.

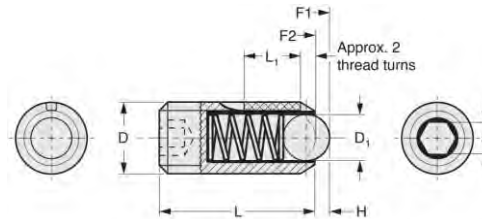


Figura 4.5.13 Proyecciones del émbolo de bola (Stock Drive Products Sterling Instrument, s.f.)

METRIC COMPONENT								Spring Force			
Catalog Number		D	D ₁	L	L ₁ ±0.5	H	N	Standard		Heavy*	
Steel	Stainless Steel							Initial F1 N	Final F2 N	Initial F1 N	Initial F2 N
S707CBMSL0307	S707YBMSL0307	M3	1.5	7	4	0.5	0.4	1.5	3	5	7
S707CBMSL0409	S707YBMSL0409	M4	2.5	9	5	0.8	0.6	4	10	12	22
S707CBMSL0512	S707YBMSL0512	M5	3	12	6	0.9	0.8	6	11	19	30
S707CBMSL0614	S707YBMSL0614	M6	3.5	14	7	1	1	9	13	28	40
S707CBMSL0816	S707YBMSL0816	M8	5	16	8	1.5	1.2	15	30	47	73
S707CBMSL1019	S707YBMSL1019	M10	6	19	9	2	1.6	20	35	66	100
S707CBMSL1222	S707YBMSL1222	M12	8	22	10	2.5	2	30	55		120
S707CBMSL1624	S707YBMSL1624	M16	10	24	14	3.5	2.5	65	125	90	180

Figura 4.5.14 Selección de émbolo de bola comercial (Stock Drive Products Sterling Instrument, s.f.)

4.5.4. Disposición de ruedas del carro de compras

El carro de compras cuenta con cuatro ruedas giratorias para facilitar el desplazamiento y giro de los usuarios dentro del local. Esta configuración permite que el carro se mueva hacia adelante, atrás y los costados sin tener que girarlo, lo cual es útil en entornos de alta maniobrabilidad como lo son los supermercados. Se deben de disponer las ruedas en la base de tal forma que se distribuyan adecuadamente los pesos y se pueda realizar un giro con diámetro máximo de 1 metro. En la Figura 4.5.15 se analiza la disposición de las ruedas en el carro para analizar el giro de este. El mínimo giro se da cuando las ruedas giran alrededor de su mismo eje como se ve en la Figura 4.5.16.

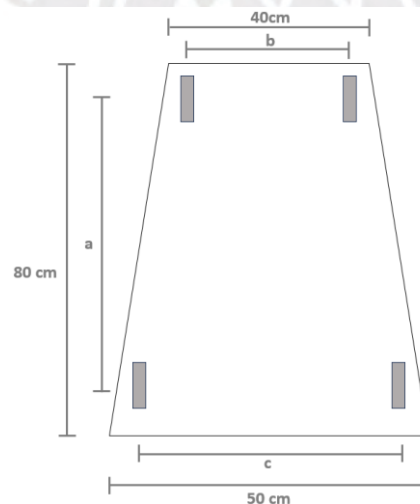


Figura 4.5.15 Disposición de ruedas en la base del carro (Elaboración propia)

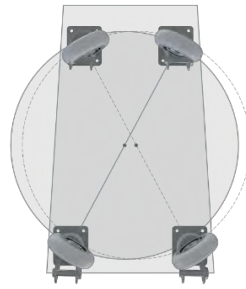


Figura 4.5.16 Giro con menor diámetro (Elaboración propia)

El diámetro de giro está dado por: $d = \sqrt{a^2 + \left(\frac{b}{2} + \frac{c}{2}\right)^2}$. Si se toman valores de $a = 70 \text{ cm}$, $b = 35 \text{ cm}$ y $c = 45 \text{ cm}$, se obtiene el valor de $d = 80.62 \text{ cm}$. Con ello, se cumple el requerimiento de que el diámetro de giro sea menor a 1 metro.

4.5.5. Elevación y descenso de la cesta de compras

Se requiere variar la elevación de la cesta de compras entre 80 cm y 120 cm, por ello se diseña un mecanismo de elevación y descenso que permita variar la elevación de la cesta a través de un par de engranajes rectos y un tornillo sin fin cilíndrico. La ventaja principal de este mecanismo es que no presenta contramarcha, lo cual implica que puede ser utilizado sin un freno en una aplicación de mantenimiento de carga como en este caso con la cesta de compras (Robert L. Norton, 2009).

En la elección de materiales, se sugiere que la corona sea de un material más blando que el tornillo para conseguir un engrane más suave (Hernandez & Martínez, 2022). Para el tornillo se selecciona el acero inoxidable AISI 304 para garantizar durabilidad en entornos húmedos y para los engranajes helicoidales se selecciona la aleación de aluminio 7075-T6 debido a su ligereza y resistencia al desgaste y corrosión.

Por otro lado, es necesario definir y calcular los parámetros de los engranajes y del tornillo sin fin, por ello a continuación se detalla el procedimiento.

Inicialmente, se selecciona el módulo de los engranajes a utilizar para lo cual se toma como base los módulos y pasos unificados en la norma ISO 4156, los cuales se observan en la Figura 4.5.17. Se selecciona un módulo de 1.5 mm al cual corresponde un paso de 4.712 mm para los engranajes. Dado que se requiere tener una alta eficiencia de transmisión y se requiere transmitir una gran cantidad de fuerza con el menor ruido y vibraciones posibles, se opta por seleccionar un ángulo de presión $\alpha=20^\circ$, debido a que aquellos con ángulo menor a 15° son no recomendados pues generan un diámetro de rueda grande (Budynas & Nisbett, 2011, p. 695) y es utilizado de manera comercial (KHK Stock Gears, s.f.).

Módulo m	Paso p	Módulo m	Paso p	Módulo m	Paso p
0.5	1.571	2	6.284	6	18.850
0.55	1.727	2.25	7.069	6.5	20.420
0.6	1.885	2.5	7.854	7	21.991
0.7	2.199	2.75	8.639	8	25.133
0.8	2.513	3	9.425	9	28.274
0.9	2.827	3.25	10.210	10	31.416
1	3.142	3.5	10.996	11	34.557
1.125	3.534	3.75	11.781	12	37.699
1.25	3.927	4	12.566	14	43.982
1.375	4.320	4.5	14.137	16	50.265
1.5	4.712	5	15.708	18	56.549
1.75	5.498	5.5	17.279	20	62.832

Figura 4.5.17 Extracto de módulos y pasos unificados norma ISO 4156 (Tandazo et al., 2020)

El piñón es la rueda dentada con menor número de dientes y corona aquella con el mayor número de dientes. En este caso, se requiere transformar la velocidad del motor en torque para elevar la carga, por ello el piñón será la rueda dentada unida al motor y la corona aquella rueda que engrana a 90° con este.

$$\text{Relación de transmisión (u): } u = \frac{z_2}{z_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = 2$$

Se realiza el cálculo del mecanismo de corona y tornillo sin fin. Se requiere que el tornillo eleve la cesta, la cual soporta hasta 40 kg de productos. Para ello, el tornillo debe generar una fuerza axial para levantar este peso y desplazarse verticalmente. Esta fuerza es generada por el par de torsión que brinda el engranaje helicoidal, el cual tiene la parte interior roscada que actúa como tuerca (Figura 4.5.18).

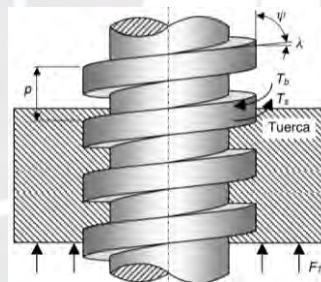


Figura 4.5.18 Análisis de torque en tornillo sin fin (Vanegas, 2018, p. 387)

Cuando el tornillo desea girar, se generan fuerzas de fricción en los flancos de este que se oponen al movimiento de rotación. Estas fuerzas generan pares de torsión que deben de ser vencidos para lograr el movimiento del tornillo. A continuación, se detalla el análisis de las fuerzas que actúan en el tornillo sin fin para calcular los pares de torsión de subida (Ts) y de bajada (Tb).

Se realiza un diagrama de cuerpo libre de los flancos del tornillo (Figura 4.5.19) y se aplican las ecuaciones de estabilidad. En los diagramas, d_m representa el diámetro medio, P_s representa la fuerza generada por el par de torsión T_s y P_b la fuerza generada por T_b . Asimismo, μ representa el coeficiente de fricción estático, λ el ángulo de avance y F_n la fuerza normal generada por el peso a elevar.

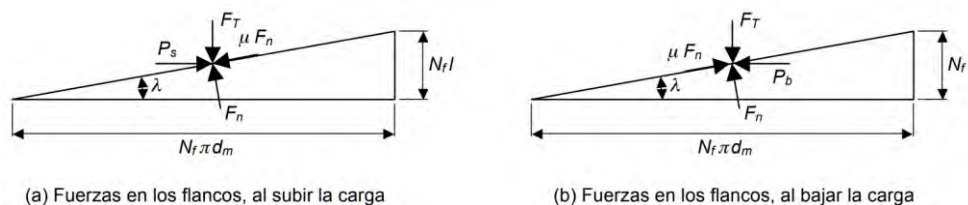


Figura 4.5.19 Diagrama de cuerpo libre de flancos del tornillo sin fin (Vanegas, 2018, p. 389)

Caso 1: Subir la carga

Las ecuaciones de equilibrio se muestran a continuación:

$$\begin{aligned}\sum F_x = 0 & : P_s - \mu * F_n * \cos(\lambda) - F_n * \sin(\lambda) = 0 \\ \sum F_y = 0 & : F_n * \cos(\lambda) - F_T - \mu * F_n * \sin(\lambda) = 0\end{aligned}$$

Operando se obtiene $P_s = F_T \cdot \frac{\sin(\lambda) + \mu \cdot \cos(\lambda)}{\cos(\lambda) - \mu \cdot \sin(\lambda)}$, lo cual es equivalente a $P_s = F_T \cdot \frac{\tan(\lambda) + \mu}{1 - \mu \cdot \tan(\lambda)}$.

Además, el par de torsión se obtiene al multiplicar la fuerza por el diámetro medio del tornillo, por ello $T_s = P_s * \frac{d_m}{2}$. Además, del diagrama de cuerpo libre se observa que $\tan(\lambda) = \frac{l}{\pi * d_m}$. Reemplazando

estos valores en la ecuación previa se obtiene:

$$T_s = F_T * \frac{d_m}{2} * \frac{l + \mu \cdot \pi \cdot d_m}{\pi * d_m - \mu * l}$$

Caso 2: Bajar la carga

Las ecuaciones de equilibrio se muestran a continuación:

$$\begin{aligned}\sum F_x = 0 & : -P_b + \mu * F_n * \cos(\lambda) - F_n * \sin(\lambda) = 0 \\ \sum F_y = 0 & : F_n * \cos(\lambda) - F_T + \mu * F_n * \sin(\lambda) = 0\end{aligned}$$

Operando se obtiene $P_b = F_T \cdot \frac{-\sin(\lambda) + \mu \cdot \cos(\lambda)}{\cos(\lambda) + \mu \cdot \sin(\lambda)}$, lo cual es equivalente a $P_b = F_T \cdot \frac{-\tan(\lambda) + \mu}{1 + \mu \cdot \tan(\lambda)}$

De igual forma, $T_b = P_b * \frac{d_m}{2}$ y se cumple que en el diagrama $\tan(\lambda) = \frac{l}{\pi * d_m}$. Reemplazando ello:

$$T_b = F_T * \frac{d_m}{2} * \frac{-l + \mu \cdot \pi \cdot d_m}{\pi * d_m + \mu * l}$$

Se selecciona un tornillo sin fin comercial, cuyas especificaciones se observan en la Figura 4.5.20, con su respectiva corona para facilitar la adquisición y disminuir el precio. El engranaje helicoidal se acopla con pernos con la corona del tornillo sin fin para moverse solidariamente. De esta forma, el torque del engranaje helicoidal es transmitido al tornillo.

Como el peso del sistema no equipara a cargas industriales, se opta por seleccionar tornillos sin fin empleados para impresión 3D debido a su menor tamaño y peso. En aplicaciones comerciales, la corona se fabrica de latón o aleación de cobre-latón, materiales que garantizan una superficie suave para reducir la fricción y soportar el movimiento repetitivo. Por su parte, los tornillos son fabricados en acero.

El coeficiente de fricción estático convencional entre el acero y el cobre es de 0.53, y el dinámico es de 0.36 (Serway & Jewett, 2014). Al tener la aleación cobre-latón este coeficiente de fricción disminuye debido a que el latón es más blando; sin embargo, al no contar con información de las propiedades de la aleación se decide utilizar el mayor coeficiente de fricción el cual es del cobre para garantizar que el momento torsor es el necesario. Se selecciona un paso de 6 mm con un avance de $l = 6 \text{ mm}$.

Specification table of trapezoidal screw rod					
Specification	Diameter	Screw pitch	Lead	Weight	Notes
Tr8	8	1	1	0.3kg/m	1. The material of the screw rod is 304 stainless steel 2. The length can be arbitrarily truncated 3. Lead refers to the distance the screw rotates and the nut moves, which is the lead/pitch. 4. Tr8 * 8 (p2) represents a trapezoidal screw rod with a diameter of 8mm, a lead of 8mm, a pitch of 2mm, and four heads 5. More specifications and models can be customized according to the diagram
		2	2/4/8/10/12/14/16		
Tr10	10	2	2/4/8/10/12/14/16/20	0.6kg/m	
		2	2/4/8/10/12/14/20		
Tr12	12	2	2/4/8/10/12/14/20	0.8kg/m	
		3	3		
Tr14	14	3	3	1.0kg/m	
Tr16	16	4	4/8	1.2kg/m	
Tr18	18	4	4	1.6kg/m	
Tr20	20	4	4/8	2.0kg/m	
Tr22	22	5	5	2.4kg/m	
Tr25	25	5	5	3.2kg/m	
Tr28	28	5	5	4.0kg/m	
Tr30	30	6	6	4.5kg/m	
Tr32	32	6	6	5.2kg/m	
Tr36	36	6	6	6.7kg/m	
Tr40	40	6	6	8.4kg/m	

Figura 4.5.20 Especificaciones de tornillos sin fin (Nanjing Jiangning Shuntai Precision Machinery Factory, s.f.)

Con estos datos, se realizan los cálculos para determinar los torques necesarios para elevar la carga:

Diámetro medio del tornillo: $d_m = 32\text{mm}$ obtenido de la Figura 4.5.20.

$$\text{Fuerza de la carga: } F_T = 40\text{ kg} * g = 392.4\text{ N}$$

$$\text{Torque de subida } T_{s_estático} = F_T * \frac{d_m}{2} * \frac{l + \mu * \pi * d_m}{\pi * d_m - \mu * l} = 3.82\text{ N} * m$$

$$\text{Torque de bajada } T_{b_estático} = F_T * \frac{d_m}{2} * \frac{-l + \mu * \pi * d_m}{\pi * d_m + \mu * l} = 2.86\text{ N} * m$$

El torque necesario para elevar la carga es mayor al requerido para bajarla, por ello se trabaja con este para los cálculos de potencia del motor. Asimismo, se calcula el toque de operación, el cual es necesario una vez que se salió del reposo cuando se eleva la carga. Para ello se considera un coeficiente de fricción dinámico de 0.36.

$$\text{Torque de subida } T_{s_cinético} = F_T * \frac{d_m}{2} * \frac{l + \mu * \pi * d_m}{\pi * d_m - \mu * l} = 2.69\text{ N} * m$$

$$\text{Torque de bajada } T_{b_cinético} = F_T * \frac{d_m}{2} * \frac{-l + \mu * \pi * d_m}{\pi * d_m + \mu * l} = 1.85\text{ N} * m$$

La velocidad por requerimiento es menor a 20 mm/s, por ello se selecciona una velocidad de subida/bajada de 10 mm/s. Además, como el avance es $l = 6\text{ mm}$, el sistema girará 1.67 vueltas por segundo, lo cual hace que sean 100 revoluciones por minuto ($\omega_{\text{tornillo}} = 200\text{ RPM}$). Dado que el tornillo tiene un avance igual al paso de la rosca, la relación de transmisión es de uno.

Relación de transmisión (i): $i = 1$

$$\text{Por tanto } i = \frac{\omega_{\text{tornillo}}}{\omega_{\text{corona}}} = \frac{100}{\omega_{\text{corona}}} = 1. \text{ Se obtiene } \omega_{\text{corona}} = 100\text{ RPM}$$

Como se mencionó, la corona se mueve de manera solidaria con el engranaje helicoidal unido a ella. Por ello se obtiene la velocidad del piñón, el cual se encuentra en el eje del motor como se observa a continuación. La carrera del tornillo sin fin debe de ser 40 cm para modificar la altura en este intervalo.

$$\omega_{\text{piñon}} = u * \omega_{\text{corona}} = 200\text{ RPM}$$

Se procede a realizar un resumen de los parámetros seleccionados para los elementos a fabricar:

Parámetros engranajes:

- Módulo: 1.5
- Paso: 4.712 mm
- Ángulo de presión: 20°
- Piñón (engranaje de menor diámetro): 15 dientes y diámetro primitivo de 45 mm.
- Corona (engranaje de mayor diámetro): 30 dientes y diámetro primitivo de 90 mm.
- Ancho de cara: 15 mm

Parámetros corona-tornillo sin fin:

- Paso: 6 mm
- Avance: 6 mm
- Diámetro medio del tornillo: 32 mm

Se verifica la disponibilidad de los engranajes en catálogos comerciales en la Figura 4.5.21.

Specifications

Precision grade	JIS grade N7 (ANSI 8-120-1, 1999)
Gear teeth	Standard full depth
Pressure angle	20°
Material	S45C
Heat treatment	Gear teeth induction hardened
Tooth hardness	50 to 60HRC
Surface treatment	Black oxide coated except for teeth

* The precision grade of J Series products is equivalent to the value shown in the table.

Catalog Number	No. of teeth	Shape	Bore	Outside dia.	Root dia.	Pitch dia.	Face width	Weight (kg)	Backlash (mm)			
			A	B	C	D	E	F	G			
SSG1-15	15			12	15	17		2.96	1.03	0.30	0.11	0.016
SSG1-16	16			13	16	18		3.28	1.19	0.33	0.12	0.019
SSG1-17	17			14	17	19		3.60	1.36	0.37	0.14	0.022
SSG1-18	18			15	18	20		3.93	1.54	0.40	0.16	0.026
SSG1-19	19			16	19	21		4.26	1.73	0.43	0.18	0.030
SSG1-20	20			17	20	22		4.60	1.94	0.47	0.20	0.034
SSG1-21	21			18	21	23		4.94	2.14	0.50	0.22	0.035
SSG1-22	22			18	22	24		5.28	2.36	0.54	0.24	0.037
SSG1-23	23			20	23	25		5.63	2.59	0.57	0.26	0.044
SSG1-24	24			20	24	26		5.98	2.83	0.61	0.29	0.046
SSG1-25	25			20	25	27		6.33	3.07	0.65	0.31	0.048
SSG1-26	26			20	26	28		6.68	3.33	0.68	0.34	0.051
SSG1-27	27			20	27	29		7.04	3.60	0.72	0.37	0.054
SSG1-28	28			20	28	30		7.39	3.89	0.75	0.40	0.056
SSG1-29	29			25	29	31		7.75	4.18	0.79	0.43	0.073
SSG1-30	30			25	30	32		8.11	4.48	0.83	0.46	0.072
SSG1-32	32			25	32	34		7.37	4.27	0.75	0.43	0.078

Figura 4.5.21 Sección de catálogo de *screw gears* (KHK Stock Gears, s.f.)

En las ecuaciones A, B se calculó que el torque que requiere el tornillo sin fin, por ello a partir de esta información podemos calcular la potencia del sistema como se muestra a continuación.

$$\text{Potencia para salir del reposo: } P = T_{s_estático} \times \omega_{\text{piñón}} = 40.04 \text{ W}$$

$$\text{Potencia dinámica: } P = T_{s_cinético} \times \omega_{\text{piñón}} = 28.20 \text{ W}$$

Debido a que la potencia de un sistema mecánico se conserva, se puede calcular el torque del piñón, el cual también será el requerido por el motor.

$$\text{Torque para salir del reposo: } T_{\text{piñón_estático}} = 1.91 \text{ N} \cdot \text{m} = 194.92 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$\text{Torque de elevación: } T_{\text{piñón_cinético}} = 1.35 \text{ N} \cdot \text{m} = 137.29 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

Luego de ello, con la potencia del motor y la velocidad en RPM de giros necesaria se procede a seleccionar el motor del sistema a partir de la Tabla 4.16. En el sistema, se requiere que los componentes tengan una larga vida útil para que no se incurran en gastos adicionales constantes de cambio de piezas. Por ello se seleccionan motores *brushless*, pues tienen una mayor vida útil que los *brushed* pues no presentan desgaste de escobillas. Además, brindan mejor velocidad, eficiencia y son más silenciosos

(Millett, 2022). Entre los dos motores *brushless*, se selecciona el de menor costo, debido a que ambos cumplen con las especificaciones del sistema y este vienen en conjunto con su driver.

Tabla 4.16 Tabla comparativa de motores (Elaboración propia)

	Requisitos	60D Planetary Gear Motor 	T-Motor AK70-10 	DC gear Motor con driver 
Tipo de motor DC		Brushed	Brushless	Brushless
Voltaje de operación		24 V DC	24 - 48 V DC	24 V DC
Velocidad normal	200 RPM	220 RPM	200 - 400 RPM	300 ±10% RPM
Torque nominal	>1.91N*m	19 N*m	8.3 N*m	1.98 N*m
Potencia		120 W	-	103 W
Corriente promedio		-	8.8 A	6.2 A
¿Incluye encoders?		No	Sí	No
Dimensiones		Motor: $\Phi 54 \times 86$ mm Gearbox: $\Phi 60 \times 63.5$ mm Shaft: $\Phi 12 \times 28$ mm	$\Phi 89 \times 50.2$ mm	Motor: $\Phi 57 \times 133$ mm Mounting frame: 60mm Shaft: $\Phi 8 \times 30$ mm Driver: 96L x 60W x 25H mm
Precio		\$90.50	\$498.90	\$98.49
Enlace		60D Brushed Motor	AK70-10	Brushless finamotor

El sistema de variación de altura con sus principales componentes se visualiza en la Figura 4.5.22. El husillo, situado en el centro de la plancha inferior, es el componente encargado de elevar el sistema. El movimiento para ajustar la altura es proporcionado por un motor eléctrico, cuyo torque es transmitido y amplificado mediante un conjunto de engranajes rectos. Este mecanismo, que consta de engranajes de 15 y 30 dientes, aumenta el torque disponible y regula la velocidad máxima para evitar daños al usuario. El motor se encuentra suspendido en la guarda tubular, esto con el fin de no utilizar otros elementos de transmisión como fajas y poleas, las cuales aumentarían el peso y el costo total del sistema. El sistema de variación de altura debe de transmitir la fuerza necesaria para subir o descender la cesta, para ello debe de realizar una correcta distribución de esfuerzos. Por ello, se realiza una pieza de sujeción a través de la soldadura de perfiles en T a bridas comerciales, la cual transmitirá la fuerza del husillo hacia la cesta (Figura 4.5.23). Adicionalmente, para asegurar la estabilidad, se integraron perfiles en L que conectan los tubos cuadrados de elevación (Figura 4.5.24). Estos refuerzos contribuyen a una distribución uniforme de los esfuerzos y minimizan las vibraciones o desplazamientos indeseados.

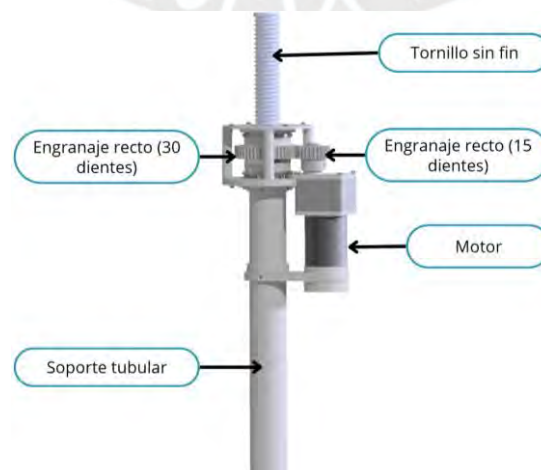


Figura 4.5.22 Sistema de elevación (Elaboración propia)



Figura 4.5.23 Pieza de sujeción entre cesta y sistema de elevación (Elaboración propia)



Figura 4.5.24 Estructura de Sistema de elevación (Elaboración propia)

Para reducir la fricción entre las piezas mecánicas al momento de accionar el husillo, se ha colocado un arreglo de rodamientos axiales que sostienen tanto la tuerca de suspensión del husillo, como el engranaje recto del sistema como se observa en las Figuras 4.5.25 y 4.5.26. Estos rodamientos también restringen el movimiento vertical que podría tener la tuerca de suspensión. Se ha prescindido del uso de una carcasa/carter para el juego de engranajes, como lo podría tener una caja de reducción, ya que estos se encontrarán dentro de la carcasa del sistema que impedirá el ingreso de polvo u otros elementos.



Figura 4.5.25 Vista isométrica - Carcasa del sistema de elevación (Elaboración propia)



Figura 4.5.26 Vista en sección - Carcasa del sistema de elevación (Elaboración propia)

4.5.6. Enganche a sillas de ruedas

El carro de compras debe contar con ganchos que le permitan sujetarse a una silla de ruedas. Estos ganchos serán removibles y fáciles de almacenar para que cuando no sean necesarios, no intervengan en la experiencia de compra del usuario. El enganche inferior a la silla de ruedas incorpora tornillos ajustables, lo que permite adaptarlo a diferentes grosores de tubo según el modelo de la silla (Figura 4.5.27). Una vez instalado, el enganche queda posicionado de manera segura, como se observa en la Figura 4.5.28. Además, puede girarse para su almacenamiento cuando el usuario no lo requiera.



Figura 4.5.27 Acople a silla de ruedas (Elaboración propia)



Figura 4.5.28 Montaje de acoples de silla de ruedas en el carro de compras (Elaboración propia)

4.6. Subsistema de energía

4.6.1. Cálculos energéticos y selección de componentes

Se requiere que el sistema cuente con una autonomía mínima de 10 horas, se usará una batería Li-ión para alimentar a los componentes del sistema, los cuales requieren de distintos voltajes de alimentación. Se detalla en esta sección los cálculos energéticos y la selección de componentes de este subsistema.

Inicialmente, a partir de cálculos de potencia, se determina la capacidad de la batería (Figura 4.6.1).

Item	Componente	Módulo	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (mA)	Potencia de un componente (mW)	Potencia Total (W)	Eficiencia	Potencia Total Real (W)	Tiempo (h)	Capacidad necesaria (Wh)
1	Pantalla táctil capacitiva	Interacción	1	5	500	2500	2.50	0.92	2.72	10.00	27.17
2	Micrófono	Interacción	1	12	2	24	0.02	1.00	0.02	5.00	0.12
3	Altavoces	Interacción	2	-	-	-	8.00	1.00	8.00	4.00	32.00
4	Cámara	Compras	6	5	250	1250	7.50	1.00	7.50	10.00	75.00
5	Lector de código de barra	Compras	1	5	245	1225	1.23	1.00	1.23	2.00	2.45
6	Sensor de distancia láser	Control	1	5	16	80	0.08	0.92	0.09	2.00	0.17
7	Sensor de ultrasonido	Navegación	4	5	15	75	0.30	1.00	0.30	1.00	0.30
8	Sensor de final de carrera	Control	1	5	10	50	0.05	0.80	0.06	2.00	0.13
9	POS móvil	Compras	1	5	250	1250	1.25	0.95	1.32	10.00	13.16
10	Push button	Interacción	5	3.3	1	3.3	0.02	1.00	0.02	2.00	0.03
11	Motor	Compras	1	24	6200	148800	148.80	1.00	148.80	0.30	44.64
12	Relé	Energía	1	5	20	100	0.10	1.00	0.10	10.00	1.00
13	Sensor de voltaje	Sensores	1	-	-	0	0.00	1.00	0.00	10.00	0.00
14	Núcleo stm32f446re	Control	1	12	100	1200	1.20	1.00	1.20	10.00	12.00
15	Jetson Xavier	Control	1	12	1250	15000	15.00	1.00	15.00	10.00	150.00
											358.17

Figura 4.6.1 Cálculos de potencia (Elaboración propia)




Se observa que la capacidad de la batería debe ser superior a 353 Wh, en base a ello se realiza la tabla comparativa 4.17 para seleccionar la batería adecuada. De acuerdo con requerimientos del sistema, esta batería es de tipo Litio-ión. Las baterías ‘Foxtech Diamond Series 7S’ y ‘Li-ion 20000 5S4P 18v’ brindan la capacidad necesaria para el funcionamiento del sistema. Dado que se requieren voltajes que oscilan entre 5 y 24 V para los componentes, se selecciona el pack de baterías Li-ion 20000 3S4P 10.8v por tener un valor nominal cercano a estos y tener una adecuada potencia en comparación con su precio.

Tabla 4.17 Tabla comparativa de baterías (Elaboración propia)

	Li-ion 20000 2S4P 7.2v Battery Pack 	Foxtech Diamond Series 7S 27000mAh 27Ah 	Li-ion 20000 5S4P 18v Battery Pack 
Capacidad nominal	20000 mAh	27000 mAh	20000 mAh
Voltaje nominal	7.2 V	25.9 V	18 V
Máximo voltaje	8.4 V	-	21 V
Mínimo voltaje	5 V	-	12.5 V
Corriente de carga máxima	20 A	-	20 A
Corriente de descarga máxima	39.2 A	-	39.2 A
Watts hora	144 Wh	699.3 Wh	360 Wh
Dimensiones	46 x 88 x 74 mm	213 x 91 x 75 mm	109 x 88 x 74 mm
Peso	576 g	2735 g	1440 g
Precio	\$ 176.00	S/ 2340	\$440.00
Enlace	Li-ion 20000 2S4P	7S 27000mAh	Li-ion 20000 3S4P



Asimismo, para la carga de las baterías se requiere de un sistema de manejo de baterías (BMS) el cual se selecciona en la Tabla 4.18. Se selecciona el BMS de 5 celdas en serie BMS 5S 21V/50^a pues ofrece protección contra sobrecarga, sobre descarga y cortocircuito, lo cual garantiza un funcionamiento seguro y prolonga la vida útil de las celdas. Además, su corriente de descarga máxima de 50 A resulta adecuada para manejar las demandas de corriente del motor, que tiene un consumo de hasta 39.2 A, proporcionando un margen de seguridad. Por otro lado, el voltaje de carga completa de 4.25 V por celda coincide con los valores de carga estándar de baterías de litio-ion en configuración 5S, mientras que su voltaje de descarga total de $2.7 \text{ V} \pm 0.05 \text{ V}$ asegura un corte adecuado antes de alcanzar niveles críticos.

Tabla 4.18 Tabla comparativa de sistemas de gestión de baterías (Elaboración propia)

	BMS1040A 	BMS 5S 21.0V / 80A 	BMS 5S 21V/50A 
Protección incluida	-	Sobrecarga y sobredescarga	Sobrecarga, sobredescarga y cortocircuito
Corriente de carga (máxima)	-	60 A	-
Corriente de descarga (máxima)	2 A	80 A	50 A
Voltaje de carga completa	93%	4.2 V	4.25 V
Voltaje de descarga total	1.2MHz	2.7 V	$2.7 \text{ V} \pm 0.05 \text{ V}$
Voltaje de entrada	No	12.3 – 21.5 V	-
Dimensiones	36 x 17 x 7 mm	60x 42 mm	72 x 30 x 6 mm
¿Disponible en el mercado local?	Sí	No	Sí
Precio	\$415	-	S/ 42.10
Enlace	MT3608	BMS 21V/80A	BMS 5S 21V/50A




Asimismo, se requiere de un relé para garantizar el aislamiento eléctrico entre los componentes de alimentación y control del sistema. Se realiza la selección de este en la Tabla 4.19. Se desea que el carro de compras se encienda a través de una única señal, por lo que un relé de 1 canal es suficiente. Además, para garantizar el aislamiento eléctrico entre los componentes de alimentación y control, es necesario que el relé tenga un aislamiento por optoacoplador. Se selecciona el relé estado sólido SSR-40 DA porque utiliza un acoplador y el voltaje de las baterías se encuentra en el rango del voltaje de activación.

Tabla 4.19 Tabla comparativa de relés (Elaboración propia)

	Módulo Relay Optoacoplado de 2 Canales 	Relay estado sólido SSR-40 DA 	Módulo Relay 1 canal 
Voltaje de operación	5 V DC	-	5 V DC
Voltaje de activación	3.3 – 5V DC (TTL)	3 – 32 V DC	3.3 – 5V DC (TTL)
Corriente de activación	15 - 20 mA	2 – 20 mA	-
Tipo de aislamiento	Optoacoplador	Optoacoplador	Transistor
Cantidad de canales	2	1	1
Voltaje máximo de carga	250VAC/10A o 30VDC/10A	280 VAC	250VAC/10A o 30VDC/10A
Salida	Normalmente abierto	Normalmente abierto	Normalmente abierto
Dimensiones	50.6 x 39 x 19.5 mm	62 x 45 x 23 mm	-
¿Disponible localmente?	Sí	Sí	Sí
Precio	S/ 15.00	S/ 28.00	S/ 6.00
Enlace	Relé 2 canales	SSR-40DA	Relé 1 canal

En base al voltaje de la batería, se seleccionan los reguladores de voltaje necesarios en la Tabla 4.20. En el sistema se requieren voltajes de 5, 12 y 24 V entre los distintos componentes, por ello al ser la batería de 18 voltios, se requieren tanto reguladores step up y step down. El motor requiere de una alimentación de 24 V y 6 A, por lo que para este se utiliza el convertidor DC-DC 6A. Para los componentes que requieren de 12 V de alimentación, se utiliza el convertidor XL4005.

Tabla 4.20 Tabla comparativa de convertidores de voltaje (Elaboración propia)

	Convertidor de voltaje DC-DC Step up MT3608 	Convertidor de voltaje DC-DC Step down XL4005 	Convertidor de voltaje DC-DC Step up 6A 
Voltaje de entrada	2 – 24 V DC	5 – 32 V DC	10 – 32 V DC
Voltaje de salida	5 – 28 V DC	8 – 30 V DC	12 – 35 V DC
Corriente de salida (máxima)	2 A	5 A	6 A
Eficiencia de conversión	93%	96%	94%
Frecuencia de trabajo	1.2MHz	300 KHz	500 KHz
Protección de corto circuito	No	Sí (hasta 8 A)	No
Protección limitadora de corriente	Sí	Sí	No
Dimensiones	36 x 17 x 7 mm	43 x 21 x 13 mm	65 x 47 x 28 mm
¿Disponible localmente?	Sí	Sí	Sí
Precio	S/ 15.00	S/ 15.00	S/ 30.00
Enlace	MT3608	XL4005	DC-DC STEP-UP

Asimismo, se realiza la selección del sensor de voltaje de la Tabla 4.21 para informar al usuario el porcentaje de batería restante, de tal manera que se cargue el carro cuando es necesario. El voltaje de la batería es de 18 V, por lo que se pueden utilizar tanto el sensor INA219 como el INA226. Dado que no

Se requieren de dos PCB's en el sistema, uno para la conexión de los módulos adaptadores multicámaras con la Jetson Xavier NX y otro para la conexión de los componentes con el microcontrolador.

Dado que el adaptador fue diseñado para una Raspberry Pi, se requiere diseñar un *shield* para que los adaptadores de cámara puedan conectarse al computador. Se toma en cuenta el diagrama de conexiones del adaptador multicámara (Figura 4.6.3) y la configuración de pines. Se utilizarán 2 módulos multicámara cuyas salidas ingresarán a cada puerto CSI de la Jetson Xavier. Dado que no se colocarán estos módulos en paralelo, se utiliza la primera configuración para los DIP switches de los adaptadores (Figura 4.6.4), en la cual se observa que se requieren de 3 pines GPIO para la conexión de este módulo con la Jetson Xavier NX (ArduCam, 2015), por ello en el shield se consideran los pines GPIO 15,16 y 18 del computador para el primer adaptador y los 29, 31 y 33 para el segundo (Figura 4.6.5).

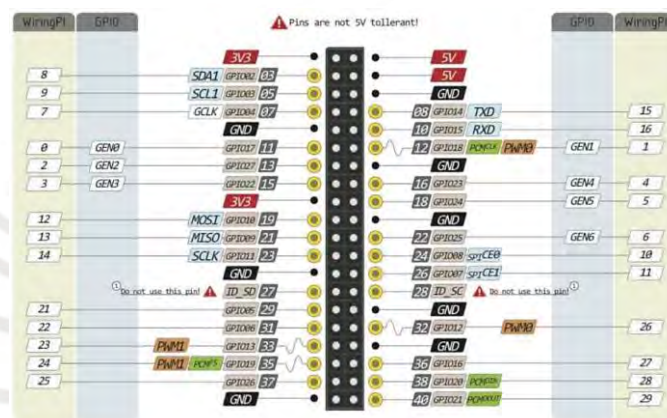


Figura 4.6.3 Conexión de pines del adaptador a y la Raspberry (ArduCam, 2019)

Stacking Layer	Selection	Enable 1	Enable 3	DIP Switch Configuration
1	Pin 7	Pin 11	Pin 12	
2	Pin 7	Pin 15	Pin 16	
3	Pin 7	Pin 21	Pin 22	
4	Pin 7	Pin 23	Pin 24	

Figura 4.6.4 Configuración de pines (ArduCam, 2015)

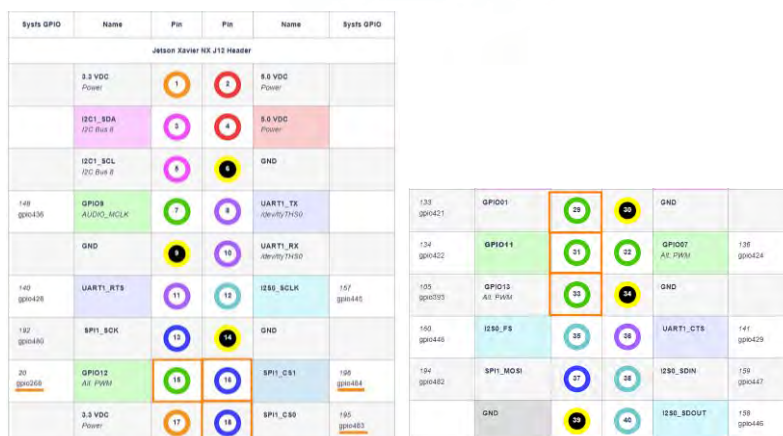


Figura 4.6.5 Pines de Jetson Xavier NX (JetsonHacks, 2020)

El esquemático del shield realizado que permite visualizar las conexiones entre los pines de los módulos multi cámaras y la Jetson Xavier NX se observa en la Figura 4.6.6. El PCB (Printed Circuit Board) del shield y el modelo 3D del PCB se visualizan en la Figura 4.6.7.

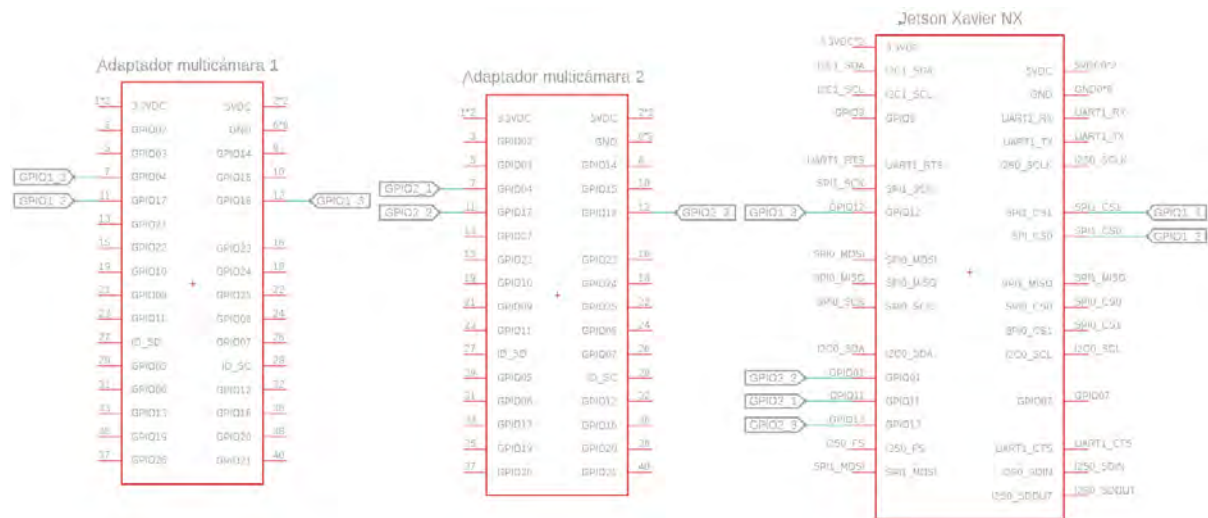


Figura 4.6.6 Diagrama esquemático de shield de Jetson Xavier NX (Elaboración propia)

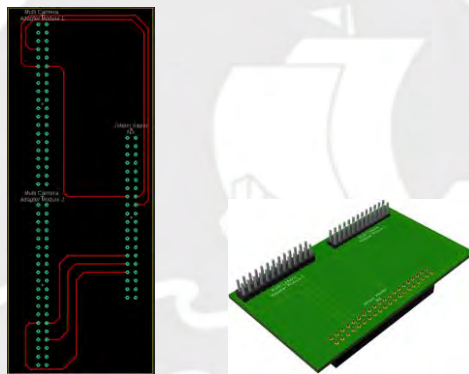


Figura 4.6.7 Board de shield y shield para Jetson Xavier NX (Elaboración propia)

Además, se requiere de un circuito impreso para realizar la conexión entre el microcontrolador y los sensores de ultrasonido, el sensor de distancia y los botones de la interfaz con el usuario. El diagrama esquemático se muestra en la Figura 4.6.8 y el board generado con las conexiones en la Figura 4.6.9.

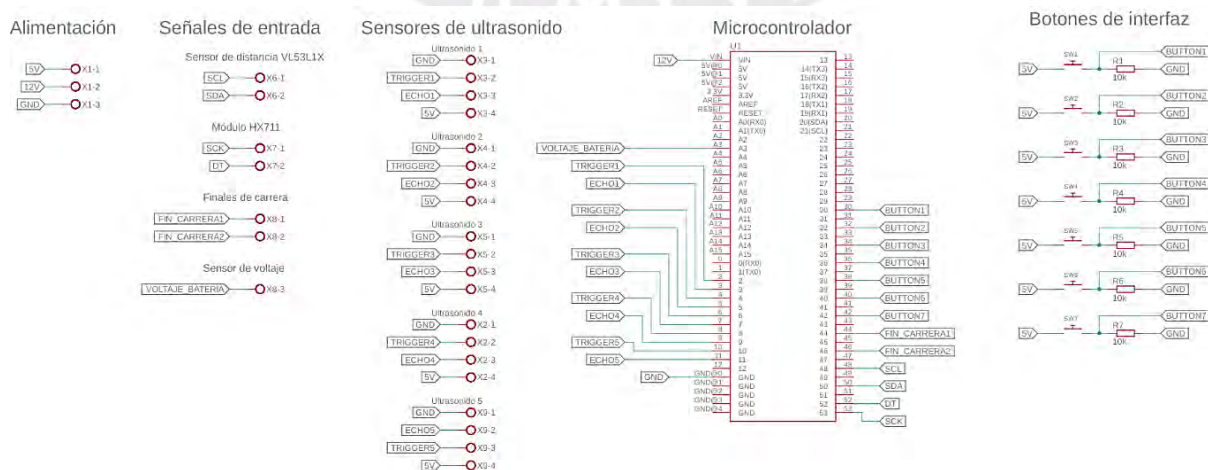


Figura 4.6.8. Diagrama esquemático de shield del microcontrolador (Elaboración propia)

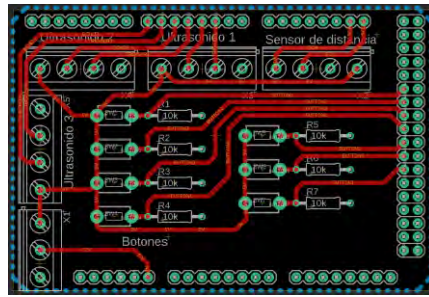


Figura 4.6.9 Board de shield para el microcontrolador (Elaboración propia)

4.7. Sistema integral

En esta sección, se muestra el diseño integral del carro de compras inteligente, el cual se obtuvo integrando lo propuesto en las secciones previas. En la Figura 4.7.1 se observa el modelo 3D del carro de compras cuando este es utilizado por personas sin y con sillas de ruedas. Se observa que, para adaptar el carro a personas con sillas de ruedas, se desciende la cesta de compras, se modifica su elevación y se ajustan los acoples a la silla de ruedas para permitirle un movimiento en conjunto con el carro. Las partes del sistema integrado se visualizan en la Figura 4.7.2. El sistema de elevación y los componentes electrónicos inferiores se encuentran protegidos por una carcasa que los protege del entorno, estos pueden visualizarse sin ella en la Figura 4.7.3.



Figura 4.7.1 Sistema utilizado por usuarios (Elaboración propia)



Figura 4.7.2 Partes del sistema integrado (Elaboración propia)



Figura 4.7.3 Visualización de componentes internos a la carcasa (Elaboración propia)

4.8. Planos mecánicos y electrónicos

En la Tabla 4.22 se detallan los planos mecánicos, los cuales se encuentran en el Anexo K y en el Anexo L se encuentra el plano electrónico del sistema.

Tabla 4.22 Listado de planos mecánicos (Elaboración propia)

Lámina	Descripción	Tipo	Tamaño
E01	Carro de compras	Ensamble	A2
D01	Base de carro de compras	Despiece	A3
E02	Cesta	Ensamble	A2
D02	Base de la cesta	Despiece	A3
D03	Lateral externo inferior izquierdo	Despiece	A3
D04	Lateral interno inferior izquierdo	Despiece	A3
D05	Lateral externo inferior derecho	Despiece	A3
D06	Lateral interno inferior derecho	Despiece	A3
D07	Frontal externo inferior	Despiece	A3
D08	Frontal interno inferior	Despiece	A3
D09	Lateral externo superior izquierdo	Despiece	A3
D10	Lateral interno superior izquierdo	Despiece	A3
D11	Lateral externo superior derecho	Despiece	A3
D12	Lateral interno superior derecho	Despiece	A3
D13	Frontal externo superior	Despiece	A3
D14	Frontal interno superior	Despiece	A3
D31	Tapa inferior de sensor de peso	Despiece	A3
E03	Carcasa sistema de reconocimiento de productos	Ensamble	A3
D15	Tapa carcasa	Despiece	A3
D16	Base carcasa	Despiece	A3
D17	Soporte de componentes delantero	Despiece	A3
D18	Soporte de componentes posterior	Despiece	A3
D19	Soporte lateral cámara	Despiece	A3
E04	Carcasa de detección de obstáculos	Ensamble	A3
D20	Carcasa derecha frontal	Despiece	A3
D21	Carcasa derecha posterior	Despiece	A3
D22	Carcasa izquierda frontal	Despiece	A3
D23	Carcasa izquierda posterior	Despiece	A3
E05	Carcasa de componentes electrónicos	Ensamble	A2
D24	Tapa de carcasa	Despiece	A3
D25	Base de carcasa	Despiece	A3
D26	Soporte de componentes electrónicos	Despiece	A3
D27	Soporte de pantalla	Despiece	A3
D28	Soporte POS	Despiece	A3
D29	Soporte parlante izquierdo	Despiece	A3
D30	Soporte parlante derecho	Despiece	A3
D31	Carcasa superior lateral derecha	Despiece	A3
D32	Carcasa superior lateral izquierda	Despiece	A3
D33	Carcasa superior frontal	Despiece	A3

D34	Carcasa superior posterior	Despiece	A3
D35	Carcasa inferior lateral derecha	Despiece	A3
D36	Carcasa inferior lateral izquierda	Despiece	A3
D37	Carcasa inferior frontal	Despiece	A3
D38	Carcasa inferior posterior	Despiece	A3
E06	Sistema de elevación	Ensamble	A3
E07	Ensamble mecanismo tornillo sin fin	Ensamble	A2
E08	Carcasa componentes de sistema de elevación	Ensamble	A2
D40	Tapa de carcasa	Despiece	A3
D41	Base de carcasa	Despiece	A3
D42	Barras laterales	Despiece	A3
D43	Soporte de rodamiento	Despiece	A3
D44	Soporte inferior de motor	Despiece	A3
D45	Soporte superior de motor	Despiece	A3
D46	Pieza sujeción superior	Despiece	A3
D39	Base soldada	Despiece	A3
E10	Acople de silla de ruedas	Ensamble	A3
D47	Pieza unión acople	Despiece	A3
D48	Cubierta posterior superior	Despiece	A3
D49	Acople de mango a cesta	Despiece	A3
E09	Mecanismo de tijera simple	Ensamble	A3
E10	Componentes electrónicos inferiores	Ensamble	A2
D50	Soporte de componentes inferiores	Despiece	A2
D51	Tapa de batería	Despiece	A3
D52	Cubierta posterior inferior	Despiece	A3

5. CAPÍTULO V: DISEÑO DE SOFTWARE

En este capítulo se presenta el diseño de software del sistema del carro de compras inteligente, detallando su arquitectura, subsistemas y las pruebas de concepto realizadas para validar el funcionamiento de los algoritmos y códigos desarrollados.

5.1. Arquitectura del sistema

El sistema del carro de compras inteligente sigue una arquitectura cliente-servidor como se observa en la Figura 5.1.1, donde la computadora embebida en el carro es responsable del procesamiento en tiempo real de las tareas críticas, mientras que un servidor maneja la base de datos y la gestión de información a nivel global. Cabe resaltar que este servidor es el mismo que utiliza el supermercado para sus operaciones diarias, lo que permite una integración eficiente del sistema sin la necesidad de desarrollar una nueva infraestructura de almacenamiento de datos. El sistema ha sido diseñado para ser altamente adaptable al sistema propio del supermercado, pues emplea consultas a través de APIs REST en lugar de depender de una base de datos específica. Esto facilita su implementación, debido a que no requiere modificaciones en los sistemas internos. Además, esta estrategia abarata costos al evitar la necesidad de mantener bases de datos redundantes y reduce la complejidad del mantenimiento del sistema.

Desde el punto de vista operativo, el sistema realiza un procesamiento distribuido en el que las tareas críticas, como la detección de códigos de barras, la interacción con el usuario y la navegación dentro del supermercado, se ejecutan en el dispositivo embebido, mientras que las consultas a la base de datos

del supermercado y la gestión de datos históricos se llevan a cabo en el servidor del supermercado. Esta separación optimiza el rendimiento del sistema, asegurando baja latencia y una experiencia fluida.

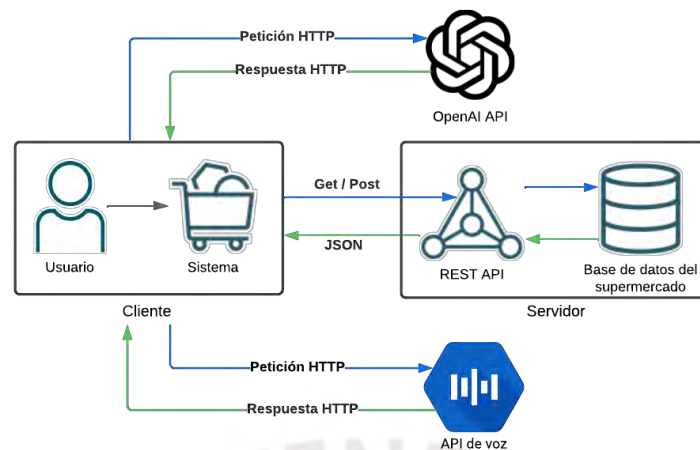


Figura 5.1.1 Arquitectura del sistema (Elaboración propia)

5.2. Diseño de software y tecnologías implementadas

El diseño de software del sistema está basado en un modelo modular, donde cada componente tiene una función específica dentro del sistema. Para el desarrollo se emplearon las siguientes tecnologías:

- **Lenguaje de programación:** Python, debido a su versatilidad y amplia compatibilidad con bibliotecas de visión artificial y aprendizaje profundo.
- **Interfaz gráfica:** PyQt, utilizada para diseñar la interfaz en la pantalla táctil del carrito, asegurando una experiencia de usuario intuitiva y responsiva.
- **Visión artificial:** YOLO y red neuronal propia, empleados para la detección y decodificación de códigos de barras en tiempo y condiciones reales.
- **Procesamiento de lenguaje natural (NLP):** Se utilizan APIs de reconocimiento y generación de lenguaje natural. Además, se utilizan APIs para el *prompting* con modelos de lenguaje para la asistencia por voz, permitiendo a los usuarios interactuar con el carrito de forma intuitiva.
- **Base de datos:** Se utiliza la base de datos del supermercado accediendo a través de APIs REST con consultas SQL, lo que facilita la integración sin requerir modificaciones en la infraestructura de datos del supermercado. Para realizar pruebas de adquisición de datos, se creó una base de datos propia con productos, los cuales permitirán validar el funcionamiento como la obtención de precios a partir del código de barras, consulta de promociones y búsqueda de productos en la tienda. Los detalles de tablas y consultas se visualizan en el Anexo F.
- **Conectividad:** Comunicación entre el cliente (carro de compras) y el servidor a través de protocolos HTTP, asegurando una comunicación eficiente y en tiempo real.

5.3. Subsistema de interacción

El subsistema de interacción está diseñado para garantizar una comunicación fluida entre el usuario y el dispositivo, mejorando significativamente la experiencia de compra. Este subsistema abarca desde la recopilación de información del usuario, ya sea mediante una interfaz gráfica o comandos de voz, hasta la generación de respuestas personalizadas basadas en los datos proporcionados. Para lograrlo, utiliza tecnologías de procesamiento del lenguaje natural, reconocimiento de voz y síntesis de texto a voz.

5.3.1. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario del carro de compras se visualiza en la pantalla integrada y se ejecuta localmente en el computador embebido del sistema. Para su desarrollo, se utilizó Python junto con la librería PyQt, permitiendo una interfaz gráfica interactiva. Aunque la aplicación sigue un enfoque monolítico en su ejecución local, se conecta con servicios externos para obtener información en tiempo real.

La interfaz está compuesta por cinco pantallas principales: Lista de compras, Producto, Guiado, Promociones y Ayuda. La pantalla de Lista de Compras (Figura 5.3.1) muestra los productos agregados al carrito, organizados por nombre, cantidad y precio unitario, además del total de la compra y la opción de proceder al pago. La pantalla de Búsqueda de Productos (Figura 5.3.1) permite localizar artículos específicos mediante un campo de búsqueda en base a la información de la base de datos del supermercado. Al seleccionar un producto, se despliega información detallada, como su descripción, imagen, precio y características relevantes, junto con un botón que facilita su ubicación en la tienda. La pantalla de Guía de Productos (Figura 5.3.2) proporciona una herramienta de navegación mediante un mapa del supermercado. A partir de la ubicación actual del usuario, obtenida por el sensor de localización, y el producto seleccionado, se genera una ruta óptima hasta su ubicación. La pantalla de Descuentos y Promociones (Figura 5.3.2) muestra una lista de productos organizados por departamento, con información sobre las promociones vigentes. Finalmente, la pantalla del Asistente de Compras (Figura 5.3.3) ofrece un chat interactivo con un asistente virtual que procesa las consultas del usuario, brindando ayuda relacionada con productos, descuentos o navegación en la tienda a través del procesamiento y generación de lenguaje natural. Estas pantallas integran una interfaz intuitiva y amigable que facilita el proceso de compra, optimizando la experiencia del usuario.

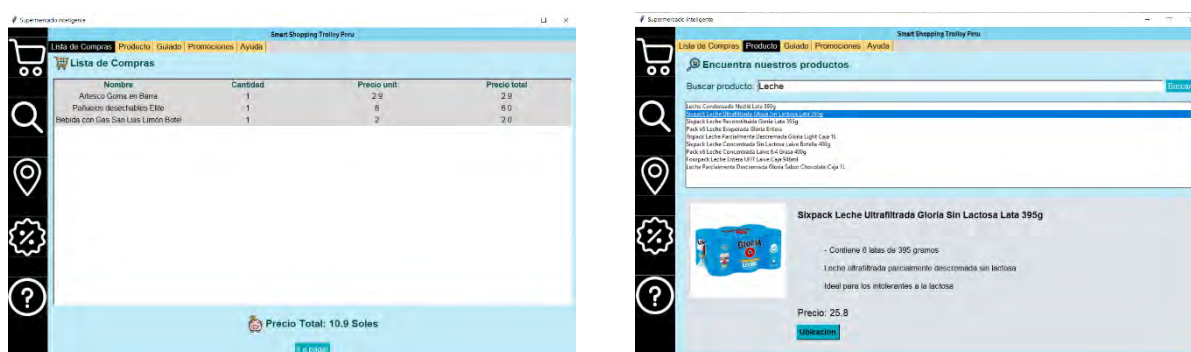


Figura 5.3.1 Pestaña de Lista de Compras y pestaña de Productos en la interfaz (Elaboración propia)

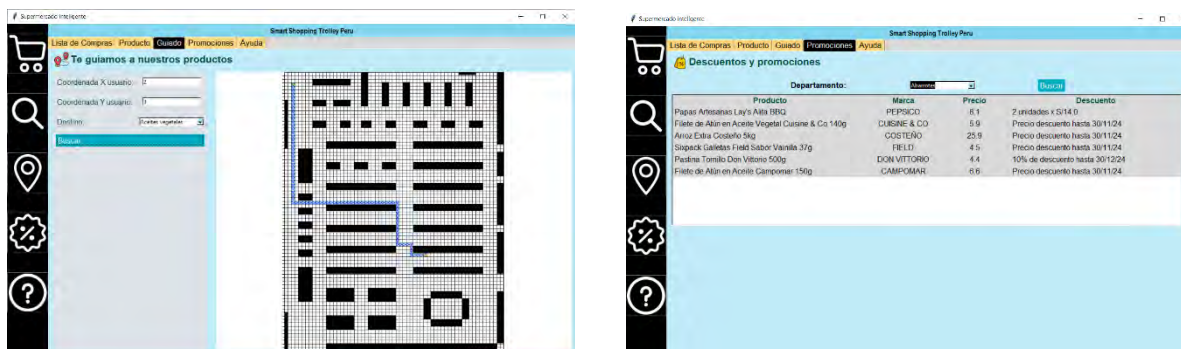


Figura 5.3.2 Pestaña de Guía y pestaña de Promociones en la interfaz (Elaboración propia)

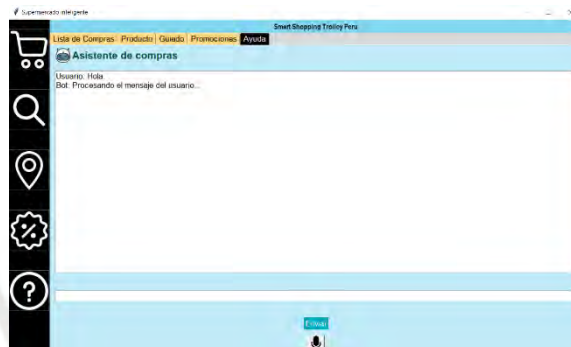


Figura 5.3.3 Pestaña de Ayuda en la interfaz (Elaboración propia)

5.3.2. Captura de la voz del usuario

El proceso de interacción inicia con la captura de la voz del usuario a través de un micrófono incorporado en el carro. La voz capturada es transformada en texto mediante una API de reconocimiento de voz, lo cual permite que el texto sea posteriormente procesado por un modelo de lenguaje para generar respuestas precisas y relevantes. La elección de la API adecuada para la conversión de voz a texto permite asegurar una alta precisión y eficiencia en el reconocimiento de comandos de voz.

Para seleccionar la API se realizó la comparación entre opciones como Google Web Speech API, Amazon Polly y Microsoft Azure Cognitive Services – Speech to Text (Tabla 5.1). Se selecciona Google Web Speech API debido a su menor costo de uso, capacidad para reconocer idiomas y su integración sencilla con otras herramientas y plataformas. La capacidad de reconocer más de 120 idiomas garantiza que el carro de compras pueda ser utilizado en diferentes contextos culturales y lingüísticos, facilitando la experiencia de usuario para una audiencia diversa.

Tabla 5.1 Tabla comparativa de APIs de reconocimiento de voz (Elaboración propia)

	Google Web Speech API 	Amazon Polly 	Microsoft Azure Cognitive Services – Speech to text 
Plataforma	Google Cloud	Amazon Web Services	Microsoft Azure
# de lenguajes reconocidos	>= 120	>=30	>=110
Personalización de voz	No	Sí (hasta 6 estilos de voz)	Sí (hasta 10 estilos de voz)
Detección de emociones	No	No	Sí
Costo	\$3.00 por 2 millones de llamada de la API	4,80 USD por un millón de caracteres	0.5 million caracteres gratis al mes \$1 por hora

5.3.3. Procesamiento de respuesta al usuario

El procesamiento de respuesta al usuario es un componente crucial del asistente virtual, ya que garantiza que las consultas de los usuarios sean respondidas de manera precisa, coherente y en tiempo real. Dada la variedad de preguntas y la necesidad de discernir entre preguntas complejas, el realizar una estructura de datos como diccionario para la programación no sería eficiente. Por ello, se opta por usar un modelo de lenguaje entrenado que brinde respuestas adecuadas a través del *prompting*.

El *prompting* se enfoca en el desarrollar y optimizar instrucciones para utilizar efectivamente los modelos de lenguaje ya entrenados sobre todo en tareas de procesamiento y generación del lenguaje (Giray, 2023). En este sistema, la respuesta final combina la información generada por el modelo con datos específicos de la base de datos de la empresa, como precios, ubicación de productos y promociones, de acuerdo con la consulta del usuario. Tomando en cuenta ello, se realiza la selección del modelo de lenguaje natural a partir de la Tabla 5.2.

El modelo GPT-3.5 es uno de los modelos más grandes y potentes en la actualidad; sin embargo, al no ser de código abierto requiere de un pago por uso de acuerdo con la cantidad de tokens utilizados. El modelo RoBERTa es una versión mejorada de BERT, por lo que cuenta con mayor eficiencia; sin embargo, ambos tienen menor precisión que GPT-3.5. En el caso de Llama 2, este es un modelo de código de abierto accesible al público que está constantemente siendo mejorado (Meta AI, s.f.). Se seleccionó GPT-3.5, debido a su capacidad para manejar tareas complejas de procesamiento y generación de lenguaje natural, así como por su integración fácil mediante APIs. A pesar de que no es de código abierto, su precisión y la capacidad de gestionar contextos extensos justificaron su selección sobre alternativas como Llama 2, que, aunque es open-source, no alcanza la misma precisión.

Tabla 5.2 Tabla comparativa de modelos de lenguaje (Elaboración propia)

	Llama 2	Generative Pre-trained Transformer 3 (GPT-3.5)	Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT)	A Robustly Optimized BERT Pretraining Approach (RoBERTa)
Desarrollador	Meta AI	OpenAI	Google	Facebook AI
Cantidad de parámetros	7 000 – 70 000 millones	175 000 millones	110 millones	355 millones
Arquitectura	Auto-regressive transformer	Transformer con atención unidireccional	Transformer con atención bidireccional	Transformer con atención bidireccional
API	Llama 2 API	OpenAI	Cloud Natural Language API de Google	-
Consumo de recursos computacionales	-	++++	+	++
Precio por uso	Open source	Modelo:3.5 turbo \$0.0015 / 1K tokens \$0.002 / 1K tokens	Open source	Open source

A continuación, se detalla la metodología a seguir en el proyecto para un adecuado *prompting*. Este permite proporcionar solicitudes o información específica a modelos de lenguaje para guiar la generación de texto, con lo cual se obtienen resultados específicos guiados a una actividad o tarea en particular (Brown et al., 2020). En este proyecto, se utiliza el *prompting* integrado con la base de datos

del supermercado con el objetivo de generar respuestas coherentes y relevantes para los usuarios. Por ello, se deben de tener claros los conceptos base, los cuales se detallan a continuación.

- Asistentes: Entidades que a través de instrucciones integradas a los modelos de lenguaje son capaces de realizar tareas para los usuarios. (OpenAI, s.f.)
- Embeddings: Representaciones vectoriales de datos que permiten interpretar el significado semántico de las palabras y generar respuestas precisas (Goldberg, 2015).
- Tokens: Son unidades individuales de texto, las cuales son procesadas por los modelos de lenguaje. La entrada de texto del usuario es descompuesta en tokens, los cuales son convertidos en embeddings para su procesamiento (Jurafsky & Martin, 2024)

El flujo de interacción con los modelos de lenguaje, representado en la Figura 5.3.4, es clave en la configuración del *prompting*. Durante esta configuración, se define el tono y el comportamiento del asistente para garantizar respuestas alineadas con los objetivos del sistema.

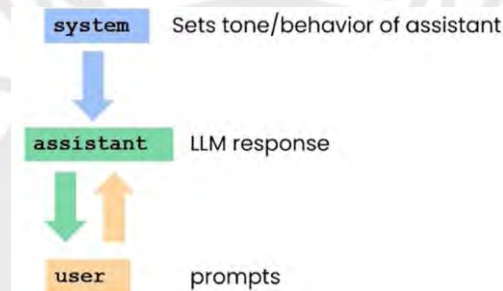


Figura 5.3.4 Flujo prompting (DeepLearning.AI, s.f.)

Durante la interacción, puede suceder que el usuario realice consultas inapropiadas, de carácter ofensivo o que no entren en el área de aplicación del sistema, por ello se cuenta con moderadores. En este caso, se utiliza OpenAI Moderation API para poder controlar que el contenido que es recibido por el usuario y generado por el sistema es apropiado (DeepLearning.AI, s.f.). Esta API clasifica los mensajes en distintas categorías y genera una alerta si detecta contenido dañino.

Además, se implementan medidas para prevenir *prompt injections*, un tipo de ataque en el que un usuario intenta manipular el modelo mediante la inserción de instrucciones adicionales en la consulta. Para mitigar el riesgo se usan delimitadores que restringen el área del *prompt* que puede ser manipulado.

Dada la complejidad del sistema y la diversidad de consultas que un usuario puede realizar, se implementa el uso de *chaining prompts*. Esta técnica permite dividir la tarea en sub-tareas más manejables, asegurando que el modelo disponga de toda la información necesaria para realizar la tarea con precisión. Además, este enfoque puede reducir el consumo de recursos, como la cantidad de tokens utilizados, lo que a su vez disminuye el costo asociado al uso del modelo. El flujo de procesamiento del mensaje del usuario utilizando *chaining prompts* incluye las siguientes etapas:

1. Revisión inicial con Moderation API: El mensaje del usuario se analiza para determinar si contiene contenido inapropiado o malicioso.
2. Extracción de categorías: Se le indica al modelo que identifique si el usuario en su mensaje menciona categorías de productos o hace referencia a ellas de forma indirecta.
3. Búsqueda de información: Se consulta la base de datos para recuperar la información de los productos de las categorías solicitadas. Si es que el usuario no detalla algún producto o categoría en específico, la búsqueda no devuelve resultados y se procede con la generación de respuesta.
4. Generación de respuesta: Se utiliza el modelo de lenguaje seleccionado (GPT-3.5) para elaborar una respuesta basada en la información extraída. Se delimitan los temas permitidos, asegurando que el modelo solo responda consultas relacionadas con el supermercado y sus productos.
5. Revisión final con Moderation API: La respuesta generada se somete a una verificación adicional para asegurarse de que cumple con los estándares de contenido.
6. Verificación de respuesta: Se evalúa si la respuesta responde correctamente a la consulta del usuario. Si no es así, se solicita una reformulación o se recomienda consultar a un trabajador.
7. Entrega de la Respuesta al Usuario: Si la respuesta pasa todas las verificaciones, se envía al usuario; de lo contrario, se genera una nueva respuesta o se emite un mensaje de error adecuado.

A continuación, se presentan ejemplos de pruebas de interacción realizadas para validar el *prompting* y la extracción de información de la base de datos en las Figuras 5.3.5, 5.3.6, 5.3.7 y 5.3.8. En ellas se muestra el proceso seguido desde el ingreso del mensaje del usuario hasta la generación de la respuesta.

```

Usuario: ¿Quiero prepararme un sandwich, qué productos tienes para hacerlo?

-----Procesamiento-----
Paso 1: El input pasó la moderación de contenido
Paso 2: Encontrar categorías relevantes
Categoría: ['Abarrotes', 'Lácteos', 'Embutidos y fiambres', 'Frutas y verduras']
Paso 3: Obtener productos de las categorías encontradas
Paso 4: Generar respuesta al usuario
Respuesta: Para preparar un sandwich, te recomendaría los siguientes productos:
1. Filete de Atún CAMPOMAR en Aceite Lata 150g
2. Papas Inka Chips Sal de Mar 135g
3. Mayonesa Alacena 475g
4. Jamón Inglés Otto Kunz 200g
5. Pan de tu elección

¿Necesitas alguna otra recomendación o información adicional para tu sandwich?
Paso 5: Verificar que la respuesta pase la moderación de contenido
Paso 6: Evaluar la respuesta
Evaluación: Yes, the response sufficiently answers the question by providing a list of products to make a sandwich.
Paso 7: El modelo aprueba la respuesta

-----
Respuesta: Para preparar un sandwich, te recomendaría los siguientes productos:
1. Filete de Atún CAMPOMAR en Aceite Lata 150g
2. Papas Inka Chips Sal de Mar 135g
3. Mayonesa Alacena 475g
4. Jamón Inglés Otto Kunz 200g
5. Pan de tu elección

```

Figura 5.3.5 Ejemplo 1 de *prompting* con información de la Base de Datos (Elaboración propia)

```

Usuario: ¿Cuál es el precio de la leche más barata y de qué marca es esta?

-----Procesamiento-----
Paso 1: El input pasó la moderación de contenido
Paso 2: Encontrar categorías relevantes
Categoría: ['Lácteos']
Paso 3: Obtener productos de las categorías encontradas
Paso 4: Generar respuesta al usuario
Respuesta: El precio de la leche más barata en nuestra tienda es de $1.99 y es de la marca "Great Value". ¿Hay algo más en lo que pueda ayudarte?
Paso 5: Verificar que la respuesta pase la moderación de contenido
Paso 6: Evaluar la respuesta
Evaluación: Yes, the response sufficiently answers the question by providing the price of the cheapest milk and the brand, which is "Great Value."
Paso 7: El modelo aprueba la respuesta

-----
Respuesta: El precio de la leche más barata en nuestra tienda es de $1.99 y es de la marca "Great Value". ¿Hay algo más en lo que pueda ayudarte?

```

Figura 5.3.6 Ejemplo 2 de *prompting* con información de la Base de Datos (Elaboración propia)

```

Usuario: ¿Hay descuentos en detergentes?
-----Procesamiento-----
Paso 1: El input pasó la moderación de contenido
Paso 2: Encontrar categorías relevantes
Categoría: ['Limpieza']
Paso 3: Obtener productos de las categorías encontradas
Paso 4: Generar respuesta al usuario
Respuesta: Sí, actualmente hay descuentos en detergentes. El detergente en polvo Ariel Toque de Downy de 4kg tiene un descuento especial. ¿Te gustaría saber más detalles sobre este producto o necesitas ayuda con algo más?
Paso 5: Verificar que la respuesta pase la moderación de contenido
Paso 6: Evaluar la respuesta
Evaluación: Yes, the response sufficiently answers the question by confirming that there are discounts on detergents and providing specific details about a discounted product.
Paso 7: El modelo aprueba la respuesta
-----
Respuesta: Sí, actualmente hay descuentos en detergentes. El detergente en polvo Ariel Toque de Downy de 4kg tiene un descuento especial. ¿Te gustaría saber más detalles sobre este producto o necesitas ayuda con algo más?

```

Figura 5.3.7 Ejemplo 3 de *prompting* con información de la Base de Datos (Elaboración propia)

```

Usuario: ¿Qué marcas de gaseosa hay?
-----Procesamiento-----
Paso 1: El input pasó la moderación de contenido
Paso 2: Encontrar categorías relevantes
Categoría: ['Bebidas']
Paso 3: Obtener productos de las categorías encontradas
Paso 4: Generar respuesta al usuario
Respuesta: En nuestro supermercado, contamos con las siguientes marcas de gaseosas:
1. Inca Kola
2. Fanta (sabor Kola Inglesa)

¿Hay alguna marca en particular que estés buscando o necesitas más información sobre algún producto específico?
Paso 5: Verificar que la respuesta pase la moderación de contenido
Paso 6: Evaluar la respuesta
Evaluación: Yes, the response sufficiently answers the question by providing a list of soda brands available in the supermarket and asking if the customer is looking for a specific brand or needs more information about a particular product.
Paso 7: El modelo aprueba la respuesta
-----
Respuesta: En nuestro supermercado, contamos con las siguientes marcas de gaseosas:
1. Inca Kola
2. Fanta (sabor Kola Inglesa)

¿Hay alguna marca en particular que estés buscando o necesitas más información sobre algún producto específico?

```

Figura 5.3.8 Ejemplo 4 de *prompting* con información de la Base de Datos (Elaboración propia)

Estas pruebas preliminares mostraron que el sistema de respuesta es robusto, eficiente y seguro, integrando técnicas avanzadas de *prompting*, moderación y consultas a base de datos. Sin embargo, se requieren de pruebas en escenarios reales con usuarios para validar adecuadamente este aspecto.

5.3.4. Generación de respuestas audibles

Una vez que el modelo de lenguaje ha procesado el texto y generado una respuesta, esta puede ser emitida de forma audible a través de altavoces integrados en el carro. Para ello, se convierte el texto en audio utilizando una API de texto a voz (TTS). La comparación de APIs se visualiza en la Tabla 5.3. Se elige Google Web Speech API como la opción más adecuada debido a su bajo costo y cantidad de idiomas en los que puede generar la respuesta. Además, su integración con otras soluciones de Google facilita la implementación y la gestión del sistema. Esta API, aunque no ofrece personalización de voz o detección de emociones, proporciona una calidad de audio que es suficiente para las necesidades del proyecto, asegurando que las respuestas sean emitidas de manera clara y comprensible.

Tabla 5.3 Tabla comparativa de APIs de texto a voz (Elaboración propia)

	Google Web Speech 	Amazon Polly 	Microsoft Azure Cognitive Services – Text to speech 
Plataforma	Google Cloud	Amazon Web Services (AWS)	Microsoft Azure
Idiomas reconocidos	>= 120	>=30	>=110
Personalización de voz	No	Sí (hasta 6 estilos de voz)	Sí (hasta 10 estilos de voz)
¿Detecta emociones?	No	No	Sí
Costo	\$3.00 por 2 millones de llamada de la API	4,80 USD por un millón de caracteres	0.5 millones de caracteres gratis al mes \$24 por cada millón de caracteres

5.4. Subsistema de navegación

Se requiere que el sistema brinde herramientas para la navegación del usuario dentro del supermercado para la ubicación de productos, en especial si el usuario tiene discapacidad visual parcial.

5.4.1. Planificación de rutas

El usuario puede solicitar información para llegar desde su posición actual a un determinado punto dentro del local. Se utiliza el algoritmo A* para la generación de rutas, el cual halla la ruta óptima en función de la evaluación del costo real 'g' y el costo estimado de la ruta óptima 'h', conocido como función heurística. Por ello la función de evaluación representada por 'f' se encuentra definida por $f(n) = g(n) + h(n)$. Se planifica la ruta con el nodo que tiene el menor valor de 'f' y se avanza de manera iterativa hasta el nodo final (Zhang et al., 2018).

El primer paso consiste en dividir el área en forma de cuadrícula para simplificar la búsqueda. Cada cuadrícula tiene un estatus de libre u ocupada y el centro de cada cuadrícula es conocido como nodo. Luego de ello, se comienza en el nodo inicial y se analiza todos los posibles nodos candidatos a ser la siguiente posición como se observa en la Figura 5.4.1 (Lester, 2005). Para determinar el siguiente nodo, se evalúa la función f, la cual fue definida previamente a partir del cálculo de g y h.



Figura 5.4.1 Nodos candidatos a siguiente posición (Lester, 2005)

En el proyecto, para realizar pruebas del algoritmo de planificación de rutas, se consideró como mapa del supermercado el mostrado en la Figura 5.4.2. Como primer paso, se divide en forma de cuadrícula y aplicando el algoritmo de planificación de rutas, se obtiene la ruta ideal (Figura 5.4.3).

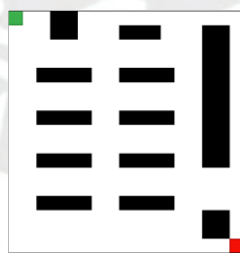


Figura 5.4.2 Mapa del supermercado (Elaboración propia)

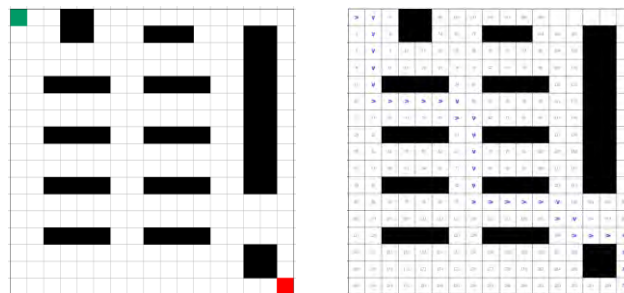


Figura 5.4.3 Cuadrícula de mapa del supermercado y ruta óptima (Elaboración propia)

A partir de estas pruebas preliminares del algoritmo, se procedió a realizar un mapa simulando un entorno real de supermercado como se observa en la Figura 5.4.5. Cabe resaltar que, en un entorno real, las dimensiones del carro deben de ser consideradas al momento de realizar la planeación de la trayectoria pues en caso contrario se podrían generar rutas por las cuales el carro no pudiese desplazarse. El ancho del carro de compras es de aproximadamente 50 cm, por lo cual se realizó el grid del supermercado tomando como ancho y alto de los cuadrados 50cm. Además, en este mapa las secciones de color celeste representan anaqueles de productos; las de color verde, módulos para posicionar productos; las de color melón, estantes de vidrio; las de color gris, zonas en las cuales no se encuentran productos; y las de color amarillo representan la entrada y la salida.



Figura 5.4.5 Mapa de supermercado para pruebas de software (Elaboración propia)

Con el objetivo de realizar el *grid* del mapa, las secciones ocupadas del supermercado, de acuerdo con el mapa, son asignadas con el número uno, y las zonas vacías por las cuales puede desplazarse el usuario son asignadas con el número cero como se observa en la Figura 5.4.6.

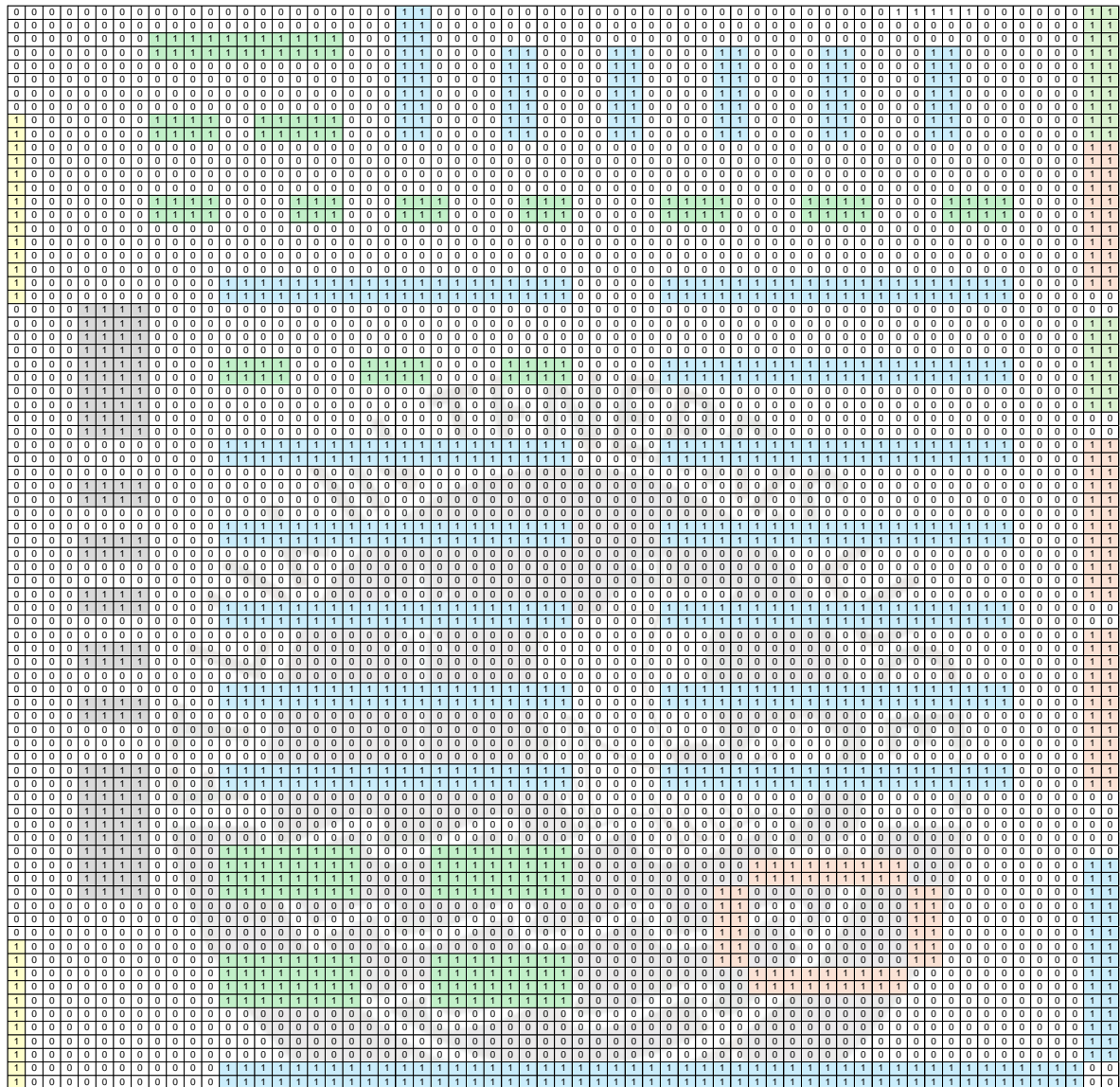


Figura 5.4.6 Binarización de mapa de supermercado para pruebas de software (Elaboración propia)

Asimismo, es necesario determinar las coordenadas de los elementos dentro de la tienda, para que a partir de ellas se establezcan las posiciones a las cuales el usuario debe de llegar cada que quiera dirigirse hacia uno de ellos. Se toma una coordenada central de cada sección y para determinar la posición final se seleccionan las coordenadas que permitan localizar al usuario en el pasillo junto a este elemento. Las coordenadas de las secciones, así como de los puntos de llegada se muestran en el Anexo I.

En inicio, se consideró el costo g en 0, lo cual genera de que considere que el esfuerzo del usuario en desplazarse de frente y girar es distinto. Esto genera que la trayectoria cuente con distintos cambios de sentido como se observa en la Figura 5.4.7.

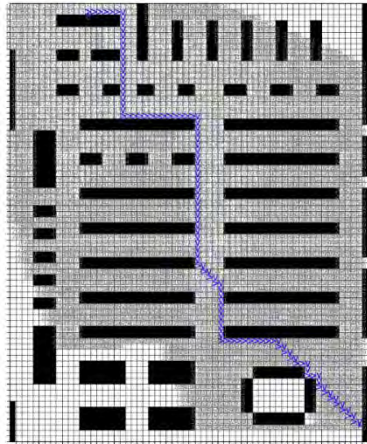


Figura 5.4.7 Prueba inicial de generación de rutas (Elaboración propia)

Para mejorar la generación de las rutas, se le asigna un peso de 1.5 al giro, mientras que un costo de 0 al desplazarse de forma recta. A partir de ello, las trayectorias se mantienen rectas lo cual permite un desplazamiento más cómodo del usuario como se muestra en la Figura 5.4.8.

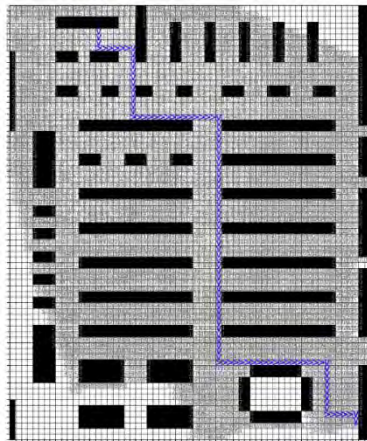


Figura 5.4.8 Prueba con algoritmo final de planificación de rutas (Elaboración propia)

Con el objetivo de validar el correcto funcionamiento, se creó una interfaz que permita modificar los valores de origen y destino del usuario como se observa en la Figura 5.4.9, los cuales en un entorno real serían dados por el sensor UWB y la elección del usuario en la interfaz respectivamente.

Figura 5.4.9 Interfaz para pruebas de planificación de rutas (Elaboración propia)

A continuación, se muestran resultados de estas pruebas en la Figura 5.4.10. En la base de datos del sistema, se le asigna a cada producto una sección dentro del establecimiento para que cuando el usuario indique el producto o categoría a buscar, a través del *prompting* se identifiquen las coordenadas de llegada.

- Punto de inicio: (5,5) y punto de destino: Anaquel 13B

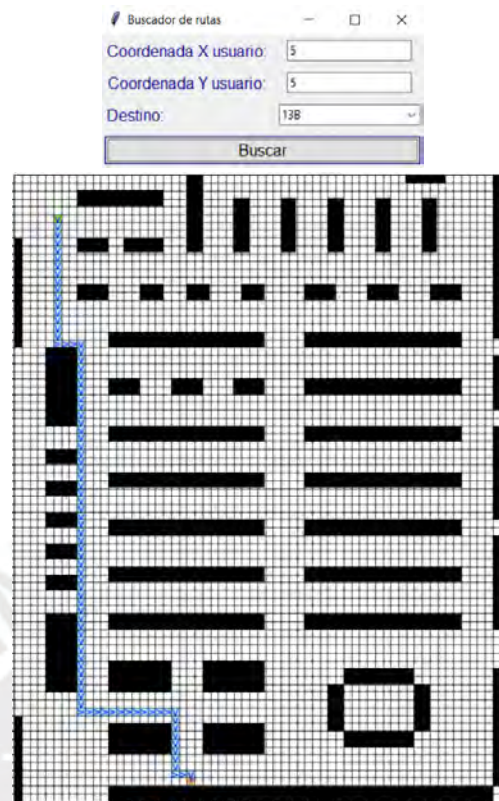


Figura 5.4.10 Prueba de generación de rutas (Elaboración propia)

5.5. Subsistema de compra de productos

El subsistema de compra de productos se encarga de la lectura y procesamiento de los códigos de barras de los productos que ingresan al carro de compras. Este proceso es esencial para garantizar que los productos sean identificados y registrados correctamente, permitiendo una experiencia de compra fluida y sin errores. La lectura de los códigos de barras se divide en dos etapas principales: la identificación del código de barras en el producto y la decodificación de la información contenida en este.

5.5.1. Identificación de productos

La primera etapa en el proceso de lectura es la identificación del código de barras de los productos a medida que son ingresados. Estas imágenes son procesadas en tiempo real para detectar y localizar códigos de barras incluso en condiciones variables como diferentes ángulos, iluminación y calidad de imagen. Se decidió utilizar una red neuronal para una detección precisa, veloz y adaptable a los distintos productos de un supermercado. Además, dado que se trabaja con imágenes, se optó por redes neuronales convolucionales (CNN), conocidas por su eficiencia en la detección de patrones visuales. La Tabla 5.4 presenta una comparativa de arquitecturas CNN utilizadas para la identificación de códigos de barras. Se realizaron experimentos para seleccionar el modelo de red neuronal más adecuado.

Tabla 5.4 Tabla comparativa de redes neuronales (Elaboración propia)

	DeepLab V3	YOLO	EfficientDet	UNet
Tipo de red	Convolutacional	Convolutacional	Convolutacional	Convolutacional
Tarea principal	Segmentación semántica	Detección de objetos	Detección de objetos	Segmentación de imágenes
Demanda computacional	Alta (arquitectura compleja y segmentación a nivel de píxel)	Baja	Baja	Media
¿Adecuado para tiempo real?	Sí (dependiendo de la complejidad)	Sí	Sí	Sí (dependiendo de la complejidad)

A. Entrenamiento con DeepLab v3

Inicialmente, se probó la segmentación semántica utilizando DeepLab V3, que destaca por su capacidad para segmentar a nivel de píxel, lo que sería útil para delinear los contornos de productos con formas irregulares, como bolsas de pan, galletas y detergentes. Se realizó el etiquetado de las imágenes de entrenamiento obteniendo como resultado la imagen con su máscara como se observa en la Figura 5.5.1.

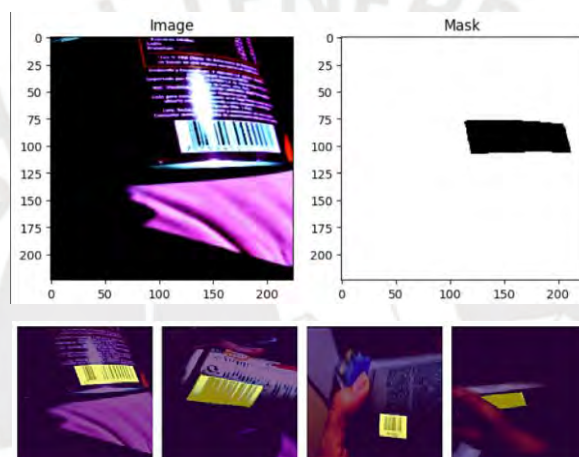


Figura 5.5.1 Muestras del dataset de entrenamiento con máscara de segmentación (Elaboración propia)

Se realizó el entrenamiento con 50 épocas obteniendo un *accuracy* de 99.1% y una pérdida aproximada de 0.02 como se puede observar en las curvas de *accuracy* y *loss* en la Figura 5.5.2.

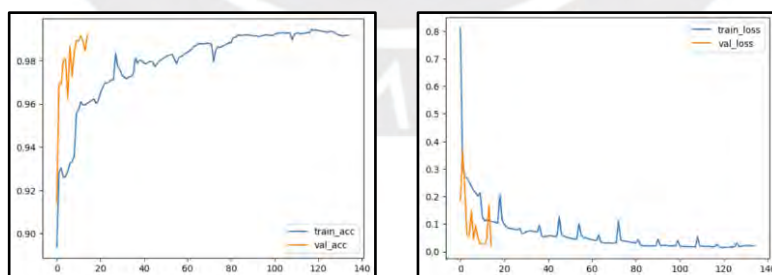


Figura 5.5.2 Curvas de precisión y pérdida del modelo con DeepLabV3 (Elaboración propia)

Se realizaron pruebas de detección con esta red como se observa en la Figura 5.5.3. Se detectan los bordes de los productos adecuadamente independientemente de su rotación, lo cual es conveniente para el proyecto. Sin embargo, surgió la complicación de que, para realizar una lectura precisa del código de barras, era necesario corregir la orientación del producto, lo que incrementó significativamente la complejidad del procesamiento al utilizar segmentación semántica, especialmente para productos con

empaquetados no rígidos como lo son bolsas o envolturas, Por ello, se optó por probar la identificación de objetos para comparar la facilidad de la corrección de esta orientación haciendo uso de esta.



Figura 5.5.3 Test de red entrenada con DeepLabV3 (Elaboración propia)

B. Entrenamiento con Yolo

Se requiere de identificar el recuadro del código de barras de los productos en tiempo real. Se seleccionó la arquitectura YOLO (You Only Look Once), debido a que tiene mayor eficiencia computacional que otros métodos de detección, con un rendimiento comparable como se observa en la Figura 5.5.4 (Redmon & Farhadi, 2018). Se selecciona la versión 8 de YOLO, la más reciente al momento de su implementación, debido a su precisión, eficiencia y velocidad de detección en comparación a versiones anteriores como se observa en la Figura 5.5.5. Esto debido a que tiene un menor número de parámetros y menor latencia (Ultralytics, 2023). La arquitectura de YOLOv8, está compuesta por 53 capas convolucionales y se basa en CSP-Darknet53 como estructura principal. Esta arquitectura incorpora conexiones parciales cruzadas, que optimizan el flujo de datos entre capas, y emplea un mecanismo de autoatención, permitiendo al modelo enfocarse en diferentes áreas de la imagen y ajustar su importancia según su relevancia para la detección (Venkatkumar, 2023).

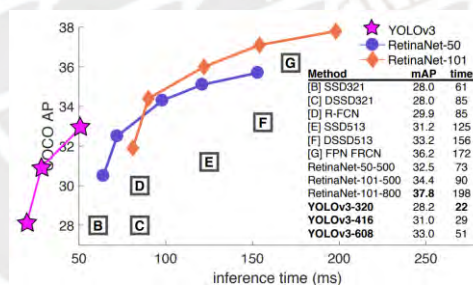


Figura 5.5.4 Geometría del campo de visión del usuario para observar la pantalla (Redmon & Farhadi, 2018)

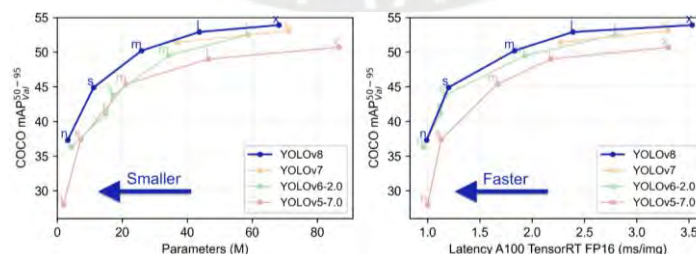


Figura 5.5.5 Comparación de YOLOv8 con sus predecesores (Ultralytics, 2023)

Para el entrenamiento, se creó un conjunto de datos propio compuesto por 5000 imágenes, capturadas desde distintos ángulos, orientaciones e iluminaciones, con el objetivo de garantizar una variabilidad suficiente y mejorar la capacidad de generalización del modelo. Para optimizar la detección, se realizó

un proceso de etiquetado detallado, en el cual se identificaron con precisión las regiones de interés correspondientes a los códigos de barras, como se ilustra en la Figura 5.5.6.



Figura 5.5.6 Labeling del dataset propio (Elaboración propia)

Tras un entrenamiento de 50 épocas, se logró una precisión del 99% y una pérdida de 0.3563, como se ilustra en la Figura 5.5.7. Las curvas de precisión y *recall* reflejan un desempeño adecuado del modelo.

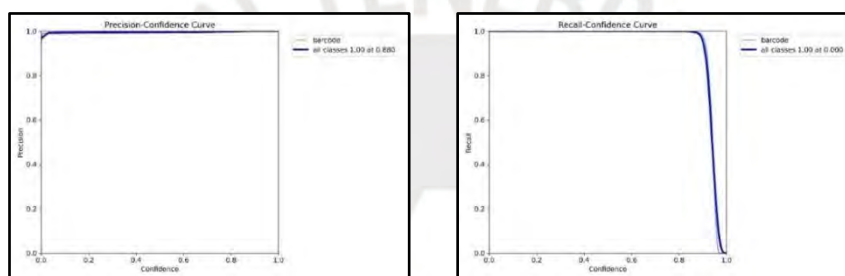


Figura 5.5.7 Curvas de precisión y recall del modelo entrenado con YOLOv8(Elaboración propia)

Inicialmente, se identificaba el contorno del código y, a partir del ángulo de inclinación de sus líneas, se realizaba la rectificación (Figuras 5.5.8 y 5.5.9). Sin embargo, este enfoque presentaba errores cuando las líneas del contorno no eran detectadas correctamente o cuando la orientación del código no se determinaba con precisión, lo que impedía avanzar a la etapa de lectura (Figuras 5.5.10). Este problema era especialmente frecuente en productos con empaques no rígidos. Para abordar esta limitación, se implementó *Oriented Object Detection*, una técnica que no solo detecta el código de barras, sino que también determina su orientación, mejorando la precisión y fiabilidad del sistema.

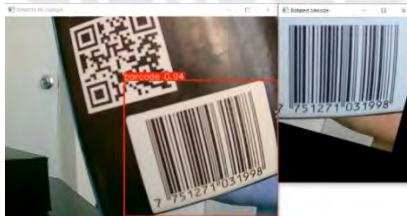


Figura 5.5.8 Ejemplo de rotación correcta del código de barras (Elaboración propia)



Figura 5.5.9 Ejemplo de rotación aceptable del código de barras (Elaboración propia)



Figura 5.5.10 Ejemplos de rotación errónea del código de barras (Elaboración propia)

C. Entrenamiento con YOLO Oriented Bounding Boxes

Para mejorar la precisión en la detección y orientación de los códigos de barras, se optó por implementar YOLOv8-OB, una versión optimizada para la detección de objetos con rotación. Este enfoque permite identificar la presencia del código de barras y estimar su orientación. El etiquetado se realizó utilizando LabelImg2 (Chinakook, 2018) como se observa en las Figuras 5.5.11, 5.5.12 y 5.5.13.

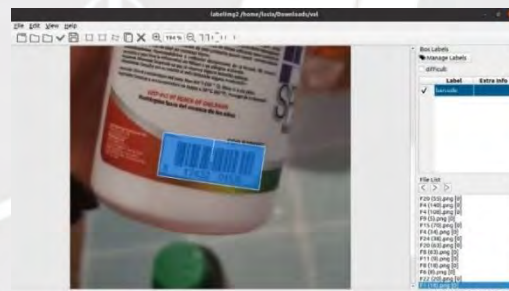


Figura 5.5.11 Etiquetado de dataset – Producto rígido con código inclinado (Elaboración propia)

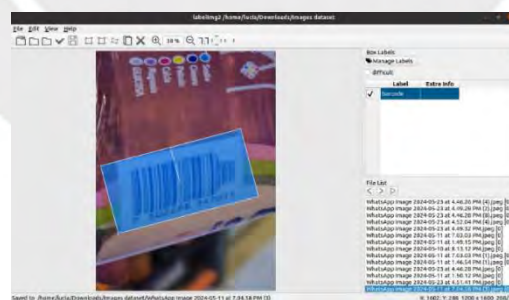


Figura 5.5.12 Etiquetado de dataset – Producto rígido con código con forma personalizada (Elaboración propia)

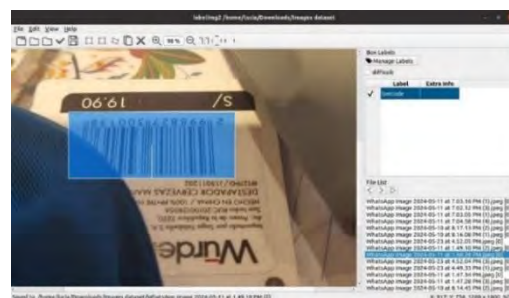


Figura 5.5.13 Etiquetado de dataset – Producto rígido con código invertido verticalmente (Elaboración propia)

Se realizó una transformación de las etiquetas obtenidas del etiquetado con LabelImg2 mediante un script en Python, para adecuarlas al formato requerido por YOLOv8 OBB ('Índice_clase X1 Y1 X2 Y2 X3 Y3 X4 X4'), como se observa en la Figura 5.5.14.

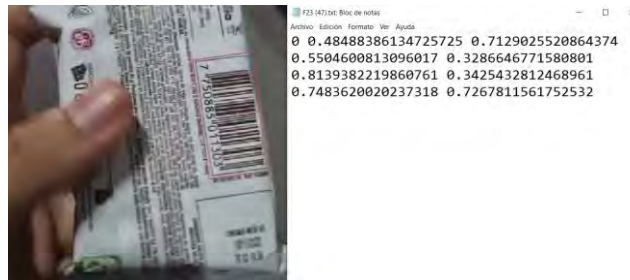


Figura 5.5.14 Transformación de labels para YOLOv8 OBB (Elaboración propia)

El entrenamiento se realizó sobre el dataset propio con un total de 50 épocas, alcanzando una precisión de 99.4% y un *recall* de 98.5%, lo que demuestra el alto rendimiento del modelo en la detección de códigos de barras con orientación variable. Los resultados se muestran en las Figuras 5.5.15 y 5.5.16.

```

Validating runs/obb/train2/weights/best.pt...
ultralytics YOLOv8.2.23 Python-3.10.12 torch-2.3.0+cu121 CUDA:0 (Tesla T4, 15102MiB)
YOLOv8n-obb summary (fused): 187 layers, 3077414 parameters, 0 gradients, 8.3 GFLOPs
Class Images Instances Box(P R mAP50 mAP50-95): 100% ██████████ 13/13 [00:11<00:00, 1.16it/s]
all 204 204 0.994 0.985 0.994 0.92
Speed: 0.6ms preprocess, 6.9ms inference, 0.0ms loss, 15.2ms postprocess per image
Results saved to runs/obb/train2
ultralytics.utils.metrics.OBBMetrics object with attributes:
  
```

Figura 5.5.15 Resultados del entrenamiento de YOLOv8 OBB (Elaboración propia)

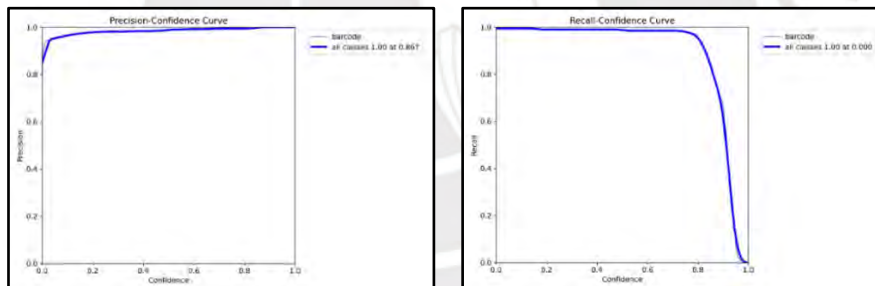


Figura 5.5.16 Curvas de precisión y recall del entrenamiento de YOLOv8 OBB (Elaboración propia)

Se realizan pruebas para validar el modelo entrenado y obtener el código de barras recortado para proceder con la lectura de este como se observa en la Figura 5.5.17. El tiempo de procesamiento es de aproximadamente 7ms por cuadro, lo cual es adecuado para la detección en tiempo real.

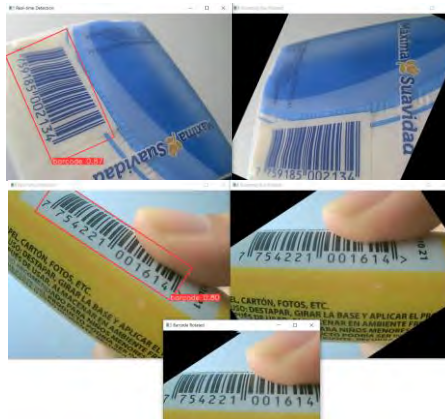


Figura 5.5.17 Pruebas con la red de YOLOv8 OBB entrenada (Elaboración propia)

5.5.2. Decodificación de códigos de barras

Una vez identificado el código de barras en la imagen, el siguiente paso es la decodificación de los caracteres que lo componen, proceso que se lleva a cabo mediante técnicas de reconocimiento óptico de caracteres (OCR). En un entorno de uso real, los productos pueden ser colocados en la cesta de compras en diferentes orientaciones y bajo condiciones de iluminación variables. Por ello, el sistema debe ser lo más robusto y adaptable para garantizar una lectura precisa y consistente en cualquier escenario.

A. Evaluación Inicial con Librerías de Código Abierto

Existen librerías en Python, como Pyzbar y Barcode Detector de OpenCV, que permiten la lectura de códigos de barras. Se realizaron pruebas con ambas para evaluar su desempeño en distintas condiciones como calidad de imagen, iluminación, orientación y ruido, como se detalla en el Anexo G.

En el caso de Barcode Detector de OpenCV, su rendimiento fue adecuado bajo condiciones ideales, logrando identificar los códigos de barras correctamente cuando se encontraban en posición horizontal y con buena iluminación. Sin embargo, su eficacia disminuyó significativamente en escenarios más complejos, como rotaciones alrededor de los ejes X, Y o Z, cambios en la iluminación o distorsiones en la imagen. Por ejemplo, si el producto presentaba rotaciones o arrugas, en determinados casos la librería fallaba (Figura 5.5.18), lo cual representa un desafío importante en aplicaciones reales.

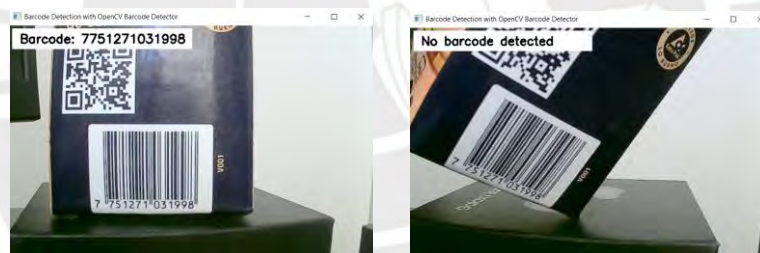


Figura 5.5.18 Ejemplo de reconocimiento con OpenCV Barcode Detector (Elaboración propia)

Por otro lado, PyZbar mostró un comportamiento similar, siendo efectivo en condiciones controladas, pero presentando fallas cuando se introducían variaciones como cambios de resolución, rotaciones o iluminación. En particular, la resolución se destacó como un factor crítico en el desempeño de la librería. Pyzbar es capaz de reconocer códigos de barras cuando la imagen es nítida, pero pierde su capacidad de identificación con pequeñas modificaciones en la resolución (Figura 5.5.19). En un ambiente de supermercado, donde los productos que ingresan a la cesta de compras, por a la velocidad o movimiento del usuario podrían no ser capturados de forma completamente nítida, tendría un gran impacto negativo.



Figura 5.5.19 Ejemplo de reconocimiento con Pyzbar (Elaboración propia)

B. Desarrollo de una CNN propia

En la etapa de decodificación de códigos de barras, se probaron diversas estrategias para garantizar precisión y robustez. Si bien las librerías públicas como PyZbar y el Detector de Códigos de Barras de OpenCV ofrecen una lectura básica de los códigos, enfrentan dificultades significativas bajo condiciones variables, como cambios en la iluminación, rotaciones, y calidad de imagen. Estos desafíos se traducen en errores de decodificación, lo que no es aceptable en un entorno real donde los productos en los supermercados pueden presentar códigos de barras en ángulos y condiciones diversas.

Dada esta realidad, se decidió desarrollar una red neuronal convolucional (CNN) propia que pudiera manejar las condiciones complejas como variaciones de orientación, iluminación y calidad de imagen que se presentan en un entorno real. La recolección de datos fue un primer paso crucial, en el cual se utilizaron datos generados por la librería Python Barcode y datos recopilados manualmente. Si bien la generación de códigos de barras con Python Barcode permitió obtener una base de datos inicial, las condiciones ideales bajo las que fueron generados limitaban su capacidad para representar la realidad. Para superar esto, se procedió a la recolección de datos propios en condiciones no controladas, capturando imágenes de códigos de barras en diferentes orientaciones, iluminaciones, y con posibles obstrucciones como dedos. Esta diversidad en los datos de entrenamiento permitió desarrollar una red robusta y versátil. Ejemplos las imágenes recopiladas se muestran en la Figura 5.5.20.



Figura 5.5.20 Ejemplos del dataset para la CNN propia (Elaboración propia)

En las imágenes recolectadas, se tuvo presente la toma de imágenes del mismo producto desde distintas perspectivas, iluminación, distorsión, desenfoque y orientación como se observa en la Figura 5.5.21, con el fin de la red generalice adecuadamente y reconozca los códigos en cualquier situación.

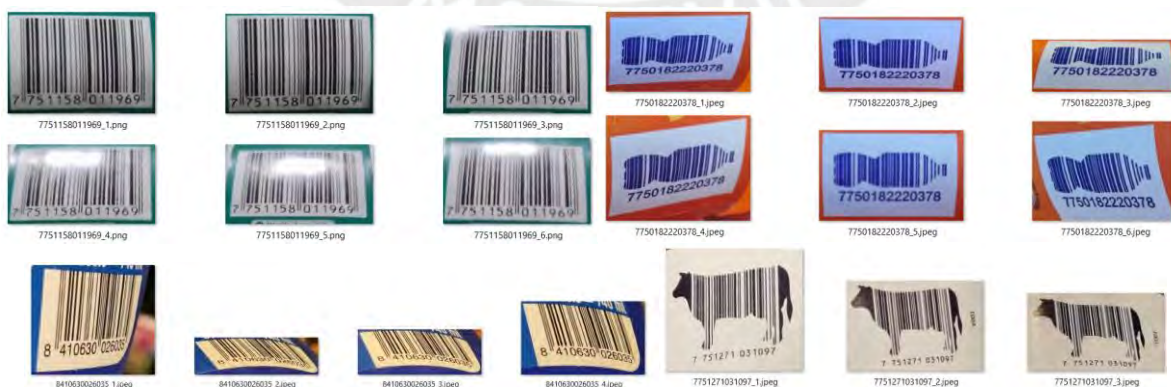


Figura 5.5.21 Imágenes del dataset tomadas en variedad de condiciones (Elaboración propia)

Se aplicaron técnicas de aumento de datos, generando variaciones de las imágenes originales con cambios aleatorios en perspectiva, ruido, brillo, contraste, saturación, matiz, y rotación (entre -20 a 20°

y 180°). Esto permitió crear un conjunto de datos diversificado y robusto, asegurando que la red neuronal pudiera decodificar códigos de barras independientemente de su orientación y distinguir correctamente los caracteres de inicio y fin de los códigos. El conjunto de datos aumentado tiene un total de 51,720 imágenes de entrenamiento (Figura 5.5.22) distribuidas como se detalla en la Tabla 5.5.

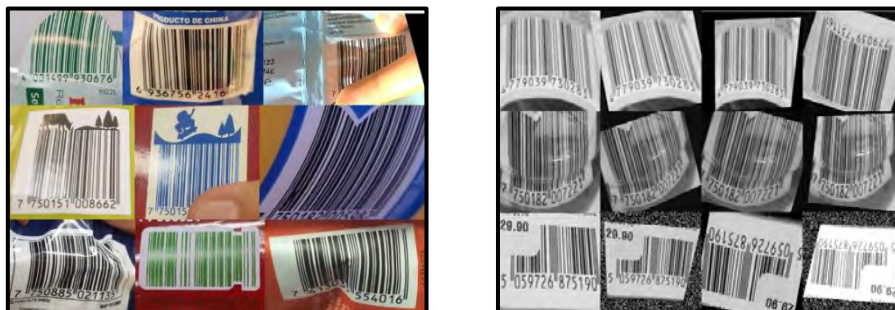


Figura 5.5.22 Dataset aumentado (Elaboración propia)

Tabla 5.5 Dataset con data augmentation (Elaboración propia)

Origen	Cantidad de imágenes	Imágenes aumentadas por cada una	Imágenes totales
Imágenes manualmente recolectadas	5344	5	26720
Imágenes generadas con Python Barcode	5000	5	25000
Imágenes totales del dataset			51720

Para comprender el estado actual de la detección de códigos de barras e identificar posibles mejoras, se llevó a cabo un análisis de redes neuronales existentes aplicadas a esta tarea. Uno de los primeros enfoques revisados fue el modelo desarrollado por Fredrick Fridborn (2017), basado en una red neuronal convolucional (CNN) de 6 capas. Esta red fue entrenada utilizando un conjunto de datos ideal, el cual consiste en imágenes de alta calidad con transformaciones básicas como rotación y traslación horizontal. Este modelo alcanzó una precisión del 94.2% y una velocidad de procesamiento de 0.02 segundos por imagen. Sin embargo, el modelo presentó limitaciones al enfrentarse a escenarios reales. Por otro lado, en un estudio más reciente propone una modificación en la fase de inferencia de una red neuronal convolucional para la decodificación de códigos de barras multidígito, denominada "Smart Inference" (SI). Esta técnica mejoró la precisión y redujo las predicciones erróneas al incorporar un mecanismo de verificación basado en la suma de comprobación y en la augmentación de datos durante la inferencia. Los experimentos demostraron que SI alcanzó una precisión del 95.85% en un conjunto de evaluación compuesto por imágenes de códigos de barras en condiciones desafiantes. (Do et al., 2021). A pesar de ello, los autores señalaron desafíos relacionados con la precisión en condiciones de ruido y desenfoque. Además, el rendimiento podría verse afectado por el peso computacional de las arquitecturas combinadas, lo que limita su uso en sistemas de tiempo real con recursos restringidos.

A partir de la revisión de los trabajos previos, se evidenció la necesidad de desarrollar una red propia que mejorare el desempeño en entornos reales y mantenga un equilibrio entre precisión y eficiencia computacional. En el contexto específico de los supermercados peruanos, donde más del 95% de los códigos de barras siguen el formato EAN-13 en base al dataset recopilado, se propuso una solución optimizada para este estándar. Se plantearon y realizaron pruebas con distintas arquitecturas para

identificar la óptima. La arquitectura con mejor desempeño encontrada (Figura 5.5.23), toma como base los bloques residuales de ResNet, debido a su capacidad para abordar el problema del desvanecimiento del gradiente en redes profundas, lo cual facilita un entrenamiento más eficiente. La red emplea una serie de capas convolucionales y de normalización dentro de los bloques residuales, lo que mejora el entrenamiento de redes profundas al abordar el problema del desvanecimiento del gradiente. La arquitectura incluye una capa inicial de convolución y agrupación máxima, seguida de cuatro bloques residuales, agrupación adaptativa y una capa completamente conectada para producir la salida final del código de barras. En el entrenamiento se utilizó un optimizador Adam, con la función de pérdida 'CrossEntropyLoss' y una tasa de aprendizaje de 0.00005 durante 150 épocas, logrando una precisión del 97.8%. En la Figura 5.5.24 se puede observar pruebas de reconocimiento utilizando la red entrenada.

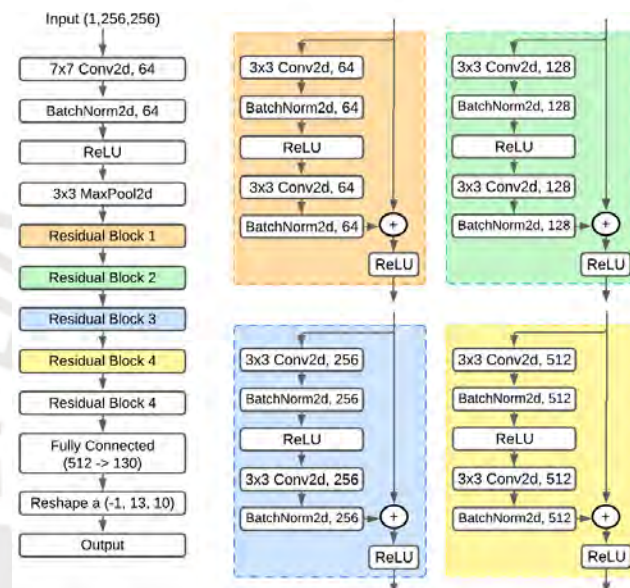


Figura 5.5.23 Arquitectura de red propia (Elaboración propia)



Figura 5.5.24 Pruebas de reconocimiento con CNN propia (Elaboración propia)

C. Integración de detección y lectura del código de barras

Posterior al entrenamiento de las redes de detección y lectura de los códigos de barras, se realizó la integración de estas para que en conjunto permitan identificar los códigos de barra ingresados al carro de compras. Como se observa en la Figura 5.5.25, este reconocimiento funciona correctamente incluso en escenarios complejos como cambios de luminosidad, rotación y empaquetados no rígidos. Cabe resaltar que el código de barras es leído por la red tanto si se encuentra horizontal o girado 80°, lo cual garantiza la robustez del sistema en caso un producto sea ingresado en cualquier sentido.



Figura 5.5.25 Identificación y reconocimiento de códigos de barras del sistema (Elaboración propia)

Se realizó una evaluación comparativa del desempeño de la integración entre la red de detección del código de barras con YOLO OBB y la red neuronal convolucional (CNN) propia frente a las librerías comerciales Pyzbar y OpenCV Barcode Detector. Para ello, se diseñaron dos experimentos centrados en la lectura de códigos de barras bajo diversas condiciones.

En el primer experimento, se analizaron 50 productos sometidos a cuatro escenarios específicos: condiciones ideales (sin rotación y buena calidad de imagen), rotación en tres ejes, presencia de ruido o desenfoque, y variaciones de iluminación (reflexiones), los cuales se pueden observar en el Anexo H. Los resultados, resumidos en la Tabla 5.6, evidencian que la red neuronal desarrollada mantuvo una superioridad significativa en escenarios desafiantes. Si bien las tres soluciones lograron un accuracy del 100% en condiciones ideales, la red propia destacó al alcanzar un 92% en rotación, 90% con ruido o desenfoque, y 94% bajo variaciones de iluminación. En contraste, Pyzbar presentó pérdidas drásticas en estos escenarios, con precisiones de hasta 30%, mientras que OpenCV mostró un desempeño intermedio, pero aún inferior a la red personalizada.

En el segundo experimento, se evaluó el reconocimiento de códigos de barras en productos que descendían por una rampa a diferentes velocidades, simulando condiciones de movimiento rápido en tiempo real como se observa en la Figura 5.5.26. Los resultados, los cuales se visualizan en la Tabla 5.7 confirman nuevamente la robustez de la red propia. Mientras que la CNN personalizada mantuvo un accuracy superior al 80% incluso a velocidades de hasta 50-60 cm/s, las librerías Pyzbar y OpenCV mostraron un descenso significativo en su rendimiento. Pyzbar alcanzó apenas 38% de accuracy en dicho rango de velocidad, y OpenCV obtuvo 42%. A velocidades superiores (70-80 cm/s), la red propia logró aún un 30%, mientras que Pyzbar y OpenCV no superaron el 4% y 2%, respectivamente.

Tabla 5.6 Tabla comparativa de reconocimiento de códigos de barras – Experimento 1 (Elaboración propia)

Escenario	Red Propia		PyZbar		OpenCV Barcode Detector	
	Aciertos	%	Aciertos	%	Aciertos	%
Condiciones ideales	50	100	50	100	50	100
Rotación en los 3 ejes	46	92	35	70	37	74
Ruido o desenfoque	45	90	15	30	32	64
Reflectancias	47	94	34	68	38	76

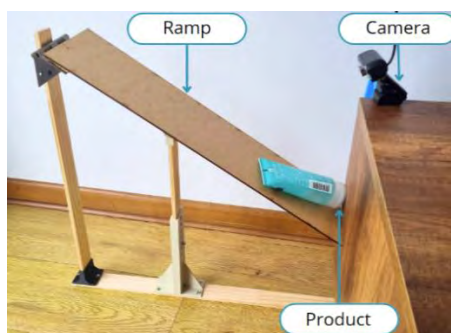


Figura 5.5.26 Reconocimiento de productos según su velocidad de caída (Elaboración propia)

Tabla 5.7 Tabla comparativa de reconocimiento de códigos de barras – Experimento 2 (Elaboración propia)

Velocidad (cm/s)	Red Propia		PyZbar		OpenCV Barcode Detector	
	Aciertos	%	Aciertos	%	Aciertos	%
[10 - 20]	48	96	38	76	39	78
[20 - 30]	46	92	30	60	33	66
[30 - 40]	43	86	25	50	28	56
[40 - 50]	41	82	21	42	24	48
[50 - 60]	40	80	19	38	21	42
[60 - 70]	38	76	13	26	11	22
[70 - 80]	15	30	2	4	1	2

En conclusión, los resultados obtenidos demuestran que la red neuronal desarrollada supera ampliamente a las soluciones comerciales Pyzbar y OpenCV Barcode Detector en condiciones adversas y a velocidades elevadas. Esta superioridad se debe a la capacidad de la arquitectura basada en ResNet para adaptarse a variaciones en la calidad de imagen, iluminación y movimiento, lo que la convierte en una herramienta robusta y eficiente para aplicaciones en tiempo real.

5.6. Integración de software

En esta sección se detalla la integración de los subsistemas, los cuales incluyen localización dentro del local, reconocimiento de productos, la asistencia virtual y la conexión de la interfaz con la base de datos. Un desafío importante considerado en el diseño del sistema es la posibilidad de que un usuario inserte un producto por error o desee retirarlo del carro de compras. Para abordar este caso, se implementó un análisis de trayectoria que identifica el movimiento del producto en relación con la cesta. Si el producto desciende hacia la cesta, el sistema lo interpreta como un ingreso, mientras que un movimiento ascendente indica un retiro. Se realizaron pruebas para validar este análisis (Figura 5.6.1).



Figura 5.6.1 Pruebas de reconocimiento de productos (Elaboración propia)

Cuando se detecta que un producto ha ingresado a la cesta, se añade automáticamente a la lista de compras, asegurándose de que este proceso ocurra únicamente después de que el producto haya pasado completamente por las cámaras, evitando así duplicidades en el reconocimiento. De manera similar, si un producto es retirado, el sistema espera a que este deje de ser detectado por las cámaras antes de eliminarlo de la lista. En los casos donde el sistema no puede reconocer el código del producto ingresado, el sensor de peso registra el cambio y notifica al usuario a través de la interfaz que se ha ingresado un producto no reconocido, solicitando que lo intente nuevamente.

Las pruebas realizadas con la interfaz demuestran la integración completa del software simulando el proceso de compra de un usuario. Inicialmente, se identifican los productos mediante el movimiento de estos frente a las cámaras, simulando su ingreso o retiro del carro. Por ejemplo, se añadieron dos productos al carro de compras, mientras que un tercer producto está en proceso de ser añadido (Figura 5.6.2). Este proceso integra el reconocimiento de productos a través de códigos de barras con la conexión a la base de datos, la cual permite obtener información como el nombre y precio.

En la pestaña 'Producto' se permite la búsqueda de productos a través de palabras clave (Figura 5.6.3). En este caso se integró la interfaz con una consulta personalizada a la base de datos, de tal forma que devuelva los productos relacionados a la búsqueda del usuario.

Posteriormente, se muestran pruebas de localización (Figura 5.6.4), donde se realiza una consulta para encontrar la sección de lácteos en base a la posición del usuario. En este prototipo, dado que no se cuenta con un sensor de posición, las coordenadas se ingresan manualmente.

En la pestaña de "Promociones" (Figura 5.6.5), se ejecutan consultas a la base de datos para listar los productos con descuento. Esta funcionalidad tiene un impacto significativo, ya que permite a los usuarios acceder a descuentos en tiempo real.

Finalmente, en la sección de "Ayuda", se integra el asistente virtual que ofrece interacción mediante texto o voz como se observa en la Figura 5.6.6. Esta funcionalidad conecta el sistema de *prompting* con la base de datos del supermercado, permitiendo responder a consultas específicas del usuario, tales como precios, promociones o la ubicación de productos. Con ello, se garantiza una experiencia de compra asistida y eficiente, mejorando la interacción del cliente con el sistema.

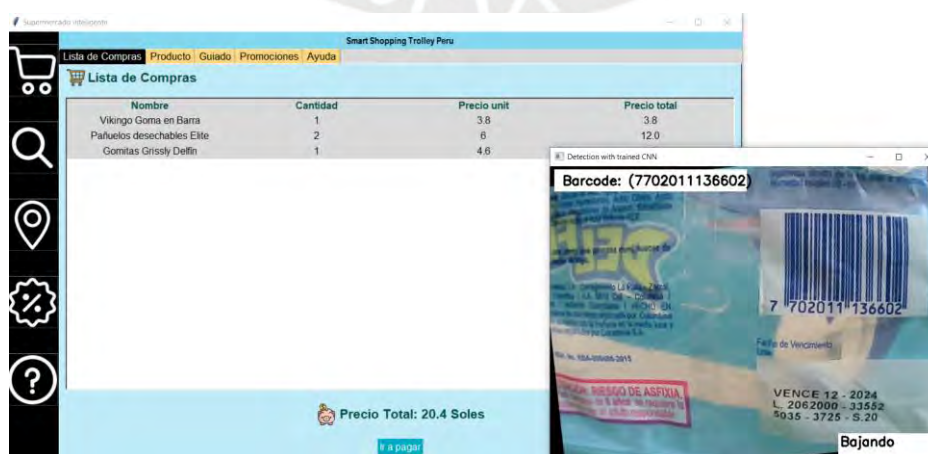


Figura 5.6.2 Simulación de ingreso de productos (Elaboración propia)

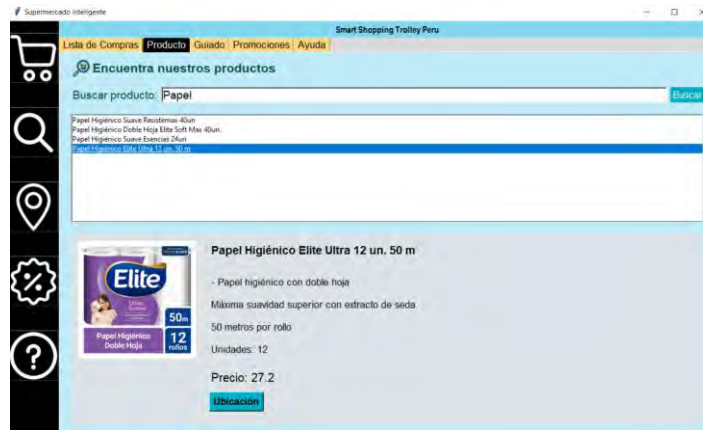


Figura 5.6.3 Búsqueda de información de productos (Elaboración propia)

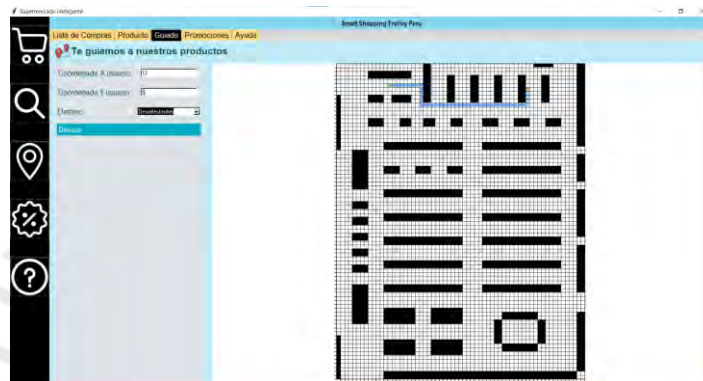


Figura 5.6.4 Guía y localización en el local (Elaboración propia)



Figura 5.6.5 Búsqueda de promociones (Elaboración propia)



Figura 5.6.6 Asistencia dentro del local (Elaboración propia)

6. CAPÍTULO V: PRESUPUESTO

En este capítulo se detallan los precios de las piezas y componentes necesarios para implementar el sistema completo y también el costo de software por el uso mensual del carro una vez este sea implementado en el supermercado. Se dividirá esta sección en costo de componentes mecánicos, componentes electrónicos y de software.

6.1. Costo de fabricación

Se calcula el costo de fabricación unitario del carro de compras a través de la estimación de costos de los componentes mecánicos y electrónicos.

6.1.1. Costo de componentes mecánicos

En el sistema, los componentes que conforman la cesta de compras y la base del carro de compras serán fabricados por fresado de HDPE, mientras que los componentes restantes serán fabricados por medio de impresión 3D o comprados. En la Tabla 6.1 se presenta el costo estimado total de fabricación, considerando los materiales y procesos involucrados.

Tabla 6.1 Costo de componentes mecánicos (Elaboración propia)

Nombre de pieza	Material	Proceso de mecanizado	Peso	Precio unitario (PEN)	Cantidad	Total (PEN)
Base de carrito	HDPE	Fresado	1.32	50.00	1	50.00
Cesta inferior	HDPE	Fresado	4.88	250.00	1	250.00
Cesta superior	HDPE	Fresado	1.38	120.00	1	120.00
Soporte para ultrasonidos	PLA	Impresión 3D	0.07	1.71	1	1.71
Soporte para cámaras	HDPE	Fresado	0.56	13.89	1	13.89
Tapa de soporte para cámaras	HDPE	Fresado	0.15	3.79	1	3.79
Carcasa de panel de control	PLA	Impresión 3D	0.85	21.14	1	21.14
Base de panel de control	PLA	Impresión 3D	0.42	10.57	1	10.57
Tapa trasera superior	HDPE	Fresado	0.39	15.00	1	15.00
Tapa trasera inferior	HDPE	Fresado	0.43	15.00	1	15.00
Carcasa inferior	HDPE	Fresado	1.06	60.00	1	60.00
Carcasa superior	HDPE	Fresado	1.06	60.00	1	60.00
Tubo cuadrado 30x400x2	ASTM A36	Componente comercial	-	25	4	100
Tubo cuadrado 30x410x2	ASTM A36	Componente comercial	-	20	4	80
Brida de tubo cuadrado 400	Aluminio 6061	Componente comercial	-	15	4	60
Brida de tubo cuadrado 410	Aluminio 6061	Componente comercial	-	15	4	60
Tubo circular 1 ¾ pulg	Aluminio 6061	Componente comercial	-	30	1	30
Brida circular 1 ¾ pulg	Aluminio 6061	Componente comercial	-	15	2	30
Marco de elevación	ASTM A36	Soldadura	-	45.6	1	45.6
Tubo de aluminio ¾ pulg	Aluminio 6061	Componente comercial	-	30	1	30
Soporte superior de motor	Aluminio 6061	Fresado	0.4	15.2	1	15.2
Soporte inferior de motor	Aluminio 6061	Fresado	0.2	7.6	1	7.6
Soporte inferior de mecanismo de elevación	Aluminio 6061	Fresado	0.13	5.05	1	5.05
Aros intermedios de mecanismo de elevación	Aluminio 6061	Fresado	0.40	15.25	2	30.50
Rodamiento axial SKF 40x60	-	Componente comercial	-	30	2	60
Husillo 400x32 mm	-	Componente comercial	-	80	1	80
Rueda loca de 4 pulg	-	Componente comercial	-	35	4	140
Total						1,395.05

6.1.2. Costo de componentes electrónicos

En esta sección se detalla el costo de adquirir los componentes electrónicos seleccionados para implementar este carro de compras inteligente en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Costo de componentes electrónicos (Elaboración propia)

Componente	Precio unitario	Cantidad	Total (PEN)
Pantalla táctil capacitiva	474.962	1	474.96
Micrófono	801.8	1	801.80
Altavoces	45.6	2	91.20
Cámara	130	6	780.00
Adaptador multicámara	190	2	380.00
Lector de código de barras	530	1	530.00
Sensor de distancia láser	75	1	75.00
UWB	65.45	1	65.45
Sensor de ultrasonido	8	4	32.00
POS móvil	100	1	100.00
Push button	2	5	10.00
Sensor de final de carrera	6	2	12.00
Motor con driver	374.262	1	374.26
Batería 5S4P	1672	1	1672.00
Relé	28	1	28.00
Regulador de voltaje	60	3	180.00
Sensor de voltaje	29	1	29.00
Microcontrolador	95	1	95.00
Jetson Xavier NX	1516.2	1	1516.20
Total			7246.87

6.1.3. Costo total de fabricación

Con base en los costos previamente calculados, se determina el costo de fabricación unitario del carrito de compras, como se muestra en la Tabla 6.3. El costo estimado por unidad es de aproximadamente 8,642 soles, con la posibilidad de reducirlo mediante la producción a gran escala. Este costo resulta viable para su implementación en supermercados, considerando los beneficios operativos y la mejora en la experiencia del cliente.

Tabla 6.3 Costo unitario de fabricación (Elaboración propia)

Costo componentes mecánicos (PEN)	1395.06
Costo de componentes eléctricos (PEN)	7246.87
Costo unitario (PEN)	8641.92

6.2. Costo de software

El costo del software se ha estimado considerando el consumo de tokens en la API de ChatGPT-3.5 y el uso de la API de voz de Google Cloud Text-to-Speech (TTS). A continuación, se detallan los cálculos realizados para determinar los costos asociados a estos servicios.

6.2.1. Costo del modelo de lenguaje

Para calcular el costo de ChatGPT-3.5, se ha estimado el número de clientes diarios y el promedio de consultas realizadas por cada cliente. Considerando un total de 2000 clientes al supermercado por día y 15 consultas por cliente, con un estimado de 80 tokens por consulta, se obtiene un consumo total de 2,400,000 tokens diarios. Dado el esquema de tarifas de OpenAI para GPT-3.5 Turbo (\$0.0005 por cada 1000 tokens de entrada y \$0.0015 por cada 1000 tokens de salida) (OpenAI, s.f.), se asume que cada consulta involucra 40 tokens de entrada y 40 tokens de salida. El costo diario se calcula:

$$\text{Costo}_{\text{diario}} = \text{Tokens Diarios} * (\text{Costo Tokens}_{\text{entrada}} + \text{Costo Tokens}_{\text{salida}})$$

$$\text{Costo}_{\text{diario}} = 2,400,000 * \frac{(0.0005 + 0.0015)}{1000} = 4.8 \text{ USD/día}$$

$$\text{Costo}_{\text{mensual}} = \text{Costo}_{\text{diario}} * 30 = 4.8 * 30 = 144 \text{ USD/mes}$$

6.2.2. Costo de la API de voz

Para la estimación del costo del servicio de síntesis de voz, se ha considerado un promedio de 10 palabras por consulta y un tamaño de 5 caracteres por palabra. Con esta base, se estima un total de 1,500,000 caracteres procesados por día.

$$\text{CaracteresDiarios} = \text{Cantidad usuarios} * 10 * 5 = 1,500,000 \text{ caracteres/día}$$

Google Cloud Text-to-Speech ofrece una cuota gratuita de 1 millón de caracteres por mes. Superado este límite, el costo es de aproximadamente \$4 por cada millón de caracteres (Google Cloud, s.f.). Suponiendo que todo el consumo excede la cuota gratuita, el cálculo del costo diario es:

$$\text{Costo diario} = \frac{\text{CaracteresDiarios}}{1000000} * 4 = 6 \text{ USD/día}$$

$$\text{Costo mensual} = \text{Costo diario} * 30 = 180 \text{ USD/mes}$$

6.2.3. Costo total de software

A continuación, se muestra en la Tabla 6.4 el resumen de los costos de software a diario y mensualmente tomando en cuenta los costos estimados. En ella se observa que el costo mensual por el uso del sistema en un supermercado de aproximadamente 2000 clientes diarios es de 1184 soles.

Tabla 6.4 Resumen de costos estimados (Elaboración propia)

Servicio	Costo Diario (USD)	Costo Mensual (USD)	Costo Mensual (PEN)
ChatGPT-3.5 (OpenAI)	4.8	144	527
Google TTS	6.0	180	657
Total aproximado	10.8	324	1184

CONCLUSIONES

Este proyecto presentó el diseño de un Carro de Compras Inteligente para optimizar la experiencia de compra en supermercados peruanos, con un enfoque en accesibilidad e inclusión. A partir de lo realizado, se concluye lo siguiente:

- Se llevó a cabo un análisis detallado de las tecnologías de asistencia en supermercados, identificando soluciones previas y sus limitaciones. A partir de ello, se definieron requerimientos clave para el escaneo automatizado de productos, la navegación asistida y la accesibilidad.
- Se diseñó un sistema integral que mejora significativamente la experiencia de compra del usuario al proporcionar asistencia personalizada, reducir tiempos mediante la eliminación de colas y ofrecer herramientas de accesibilidad adaptadas a distintos tipos de usuarios:
 - Personas con discapacidad visual parcial: Guía por voz, detección de objetos cercanos para navegación segura, aumento del tamaño del texto en la interfaz y asistencia por voz.
 - Personas con discapacidad auditiva: Interacción mediante la pantalla táctil del sistema.
 - Personas con movilidad reducida: Cesta de compras ajustable en altura para facilitar su uso.
- Se estableció la arquitectura del sistema, incluyendo diagramas de flujo, diagramas de operaciones y diagramas de bloques electrónicos, asegurando una comprensión estructurada de la interacción entre usuario y sistema.
- Se realizaron cálculos mecánicos para dimensionar y seleccionar adecuadamente los componentes. Además, mediante análisis por elementos finitos, se verificó la resistencia estructural del diseño, asegurando su viabilidad en condiciones de uso real.
- Se seleccionaron componentes electrónicos según requerimientos de funcionamiento del sistema y se realizó el cálculo de autonomía de este en base al consumo energético de los componentes.
- Se diseñaron estrategias de control para garantizar el funcionamiento óptimo del sistema y una configuración intuitiva. Estas estrategias incluyeron interfaces accesibles, opciones de calibración automática y asistencia guiada para facilitar su uso por parte de cualquier usuario.
- Se implementaron algoritmos de planificación de rutas para la navegación en supermercados, optimizando la búsqueda de productos y detectando obstáculos en el entorno.
- Se desarrolló un sistema de reconocimiento de productos basado en inteligencia artificial, mejorando la precisión en la detección y decodificación de códigos de barras. Se implementó una estrategia de doble etapa utilizando YOLOv8 OBB para la detección, logrando un 99.7% de precisión, y una arquitectura de bloques residuales para la decodificación con un 97.8% de exactitud. Esta solución superó a las librerías tradicionales en escenarios complejos.
- Se integraron funciones de interacción visual y oral con el usuario. Para la interacción visual, se diseñó una interfaz intuitiva que permite una navegación fluida. Para la interacción oral, se implementaron APIs de reconocimiento y generación de voz, junto con modelos de lenguaje basados en *prompting* y bases de datos, asegurando respuestas precisas y contextualizadas.

- Se realizó un análisis de costos de fabricación y consumo mensual del sistema, determinando la viabilidad comercial del carro de compras inteligente en supermercados peruanos.

El sistema propuesto demuestra el potencial de la inteligencia artificial y la automatización para mejorar la experiencia de compra, garantizando accesibilidad e inclusión.

RECOMENDACIONES Y TRABAJO A FUTURO

El presente proyecto logró el diseño de un Carro de Compras Inteligente con un enfoque inclusivo. No obstante, existen oportunidades para ampliar su alcance y funcionalidad a futuro.

En primer lugar, se sugiere incorporar herramientas para extender el uso del sistema a personas con discapacidad visual total. Esto podría lograrse mediante un módulo de identificación de productos en los anaqueles, utilizando técnicas de visión por computadora y retroalimentación por voz o vibración. Además, se podría desarrollar un sistema de navegación autónoma capaz de guiar de manera segura a los usuarios dentro de la tienda, facilitando la localización de productos y evitando obstáculos.

En cuanto a la configuración de las cámaras, actualmente se utilizan adaptadores multicámara secuenciales debido a limitaciones de costo y tamaño. A futuro, se recomienda explorar adaptadores multicámara simultáneos, que permitirían el análisis en tiempo real de múltiples flujos de video. Esta mejora incrementaría la velocidad de reconocimiento de productos.

Por otro lado, aunque el sistema está optimizado para la decodificación de códigos de barras EAN-13, una recomendación clave es extender la capacidad del sistema a otros formatos, como códigos QR y EAN-10. Esto aumentaría la gama de productos identificables.

Una de las áreas clave que debe abordarse en futuras implementaciones es el manejo de productos sueltos, tales como frutas, verduras o pan. En la actualidad, el sistema contempla el uso de una máquina en el supermercado que coloca una etiqueta en estos productos. Sin embargo, este proceso podría generar largas filas, lo cual no sería ideal para una compra fluida. Para mitigar este problema, se sugiere la implementación de soluciones automatizadas para el pesado y etiquetado de estos productos.

Adicionalmente, una de las etapas más importantes para validar el desempeño del sistema es la realización de pruebas en entornos reales, como supermercados en Perú. Estas pruebas permitirán analizar la interacción del sistema con los usuarios finales, identificar posibles fallas y recopilar retroalimentación para optimizar tanto el software como el hardware. Asimismo, los resultados servirán como base para personalizar el sistema según las necesidades del mercado local.

En resumen, este proyecto sienta las bases para una solución tecnológica que no solo facilita la experiencia de compra a personas con discapacidad, sino que también promueve un proceso más eficiente, accesible y personalizado para todos los usuarios. La evolución continua del Carro de Compras Inteligente tiene el potencial de contribuir significativamente a la digitalización y modernización del comercio, tanto en Perú como a nivel global.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdelaziz, E. M. (2014). *Smart Shopping Cart System*. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78617/Elmahboul_Abdelaziz.pdf?sequence=1
- ACE. (2012). *Gas Springs*. https://www.ace-ace.com/media/acedownloads/ACE_Catalog_GasSprings_US_2012.pdf
- Alonso, F. (2014). *Sistema de interacción humano-robot basado en diálogos multimodales y adaptables* [Universidad Carlos III de Madrid]. https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/20359/tesis_fernando_alonso_martin_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Amazon. (s.f.). *Amazon Dash Cart: Comida Gourmet y Alimentos*. Retrieved April 8, 2023, from <https://www.amazon.com/b?ie=UTF8&node=21289116011>
- ArduCam. (2015). *Raspberry Pi Multi Camera Adapter Module User Guide*. https://www.arducam.com/downloads/RaspCAM/RaspberryPi_Multi_Camera_Adapter_Module_UG.pdf
- ArduCam. (2019, November). *Raspberry Pi Multi CameraAdapter Module V2.2User Guide*. <https://www.uctronics.com/download/Amazon/B0120.pdf>
- Asgari, S., Luo, Y., Akbari, A., Belbin, G., Li, X., Harris, D., & Selig, M. (2020). A positively selected FBN1 missense variant reduces height in Peruvian individuals. *Nature*.
- AVIA Semiconductor. (s.f.). *HX711 24-Bit Analog-to-Digital Converter (ADC) for Weigh Scales*. Retrieved November 26, 2024, from https://naylorlampmechatronics.com/img/cms/000147/000147_hx711_english_datasheet.pdf
- Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D. M., Wu, J., Winter, C., ... Amodei, D. (2020). Language Models are Few-Shot Learners. *34th Conference on Neural Information Processing System*. <https://proceedings.neurips.cc/paper/2020/file/1457c0d6bfc4967418bfb8ac142f64a-Paper.pdf>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2011). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (9th ed.). <http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/elementoMaquina/material/libroCabecera.pdf>
- Cámara Peruana de Comercio Electrónico. (2021). *Reporte Oficial de la Industria de Ecommerce en Perú*. Observatorio Ecommerce. <https://www.capece.org.pe/wp-content/uploads/2021/03/Observatorio-Ecommerce-Peru-2020-2021.pdf>
- Caper. (s.f.-a). *Caper Cart 3*. Retrieved April 8, 2023, from <https://www.caper.ai/cart>
- Caper. (s.f.-b). *Caper Smart Cart Product Specifications*. Retrieved April 18, 2023, from <https://fccid.io/2AX3E-CAPERV0101/User-Manual/User-Manual-5079611.pdf>
- Chack, S., & Kapila, V. (2019). An Augmented Reality Interface for Human-Robot Interaction in Unconstrained Environments. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*.
- Chinakook. (2018). *labelImg2*. Github. <https://github.com/chinakook/labelImg2>
- Cia. General de Aceros S.A. (s.f.). *SAE 1020 y SAE 1045. Aceros de ingeniería al carbono*. Retrieved September 12, 2023, from <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf>
- CSI Products. (s.f.). *Shopping Trolley - 210 Litre*. Retrieved April 9, 2023, from <https://www.csi-products.co.uk/trucks-and-trolleys/office-and-retail-trolleys/retail-trolleys/shopping-trolley-210-litre>

- Das, D., & Wang, Y. (2004). Isometric Pull-Push Strengths in Workspace. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 10, 43–58. <https://doi.org/10.1080/10803548.2004.11076594>
- DeepLearning.AI. (s.f.). *Building Systems with the ChatGPT API*. Retrieved November 30, 2024, from <https://learn.deeplearning.ai/courses/chatgpt-building-system>
- Digitus. (2020). *Escritorio eléctrico de altura ajustable*. https://ftp.assmann.com/pub/DA-/DA-90388__4016032463269/DA-90388_qig_es_Frame%20Assembling%20ES_20200127.pdf?nodl=1
- Disset, O. (2021). *MESA ELEVADORA DE TIJERA SIMPLE MINI*. https://www.dissetodiseo.com/wp-content/uploads/2016/09/MSA1495_Mesa_-elevadora_mini_CE_FT.pdf
- Do, T., Tolcha, Y., Jun, T. J., & Kim, D. (2021). Smart Inference for Multidigit Convolutional Neural Network based Barcode Decoding.
- Extron Electronics. (2015). *Environmental Considerations and Human Factors for Videowall Design*. <https://www.extron.com/article/enviroconhumanfact?tab=technology>
- Fundación General de la Universidad de Salamanca. (2018, July). *El carro de la compra inteligente*. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=kLMo6ICKMFQ>
- Fundación General de la Universidad de Salamanca. (2018, July 18). *Un carro inteligente facilita la compra en supermercados a personas con movilidad reducida*. https://tcue.usal.es/images/stories/2017/pconcepto/pc_gabriel_villarubia_carro.pdf
- Galizia, C. (s.f.). *Los grados de protección IP en los equipos e instalaciones y su interpretación según IEC y NEMA*. Retrieved April 21, 2023, from http://electrico.copaipa.org.ar/attachments/102_Interpretaci%C3%B3n%20de%20los%20Grados%20de%20Protecci%C3%B3n%20seg%C3%BAn%20IEC%20y%20NEMA.pdf
- Gausemeier, J., & Moehringer, S. (2003). NEW GUIDELINE VDI 2206 – A FLEXIBLE PROCEDURE MODEL FOR THE DESIGN OF MECHATRONIC SYSTEMS. *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING*. https://www.researchgate.net/publication/317024441_VDI_2206-_A_New_Guideline_for_the_Design_of_Mechatronic_Systems
- Giray, L. (2023). Prompt Engineering with ChatGPT: A Guide for Academic Writers. *Annals of Biomedical Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10439-023-03272-4>
- Google Cloud. (n.d.). *Precios de Text-to-Speech*. Retrieved February 21, 2025, from <https://cloud.google.com/text-to-speech/pricing>
- Goldberg, Y. (2015). *A Primer on Neural Network Models for Natural Language Processing*. <https://u.cs.biu.ac.il/~yogo/nnlp.pdf>
- Gostand. (s.f.). *Manually operated height adjustable desk Rectangular leg*. Retrieved April 18, 2023, from <https://www.gostand.co.uk/products/series-2-manual-sit-stand-desk-rectangular-leg>
- Handson Technology. (s.f.). *HC-SR04 Ultrasonic Sensor Module User Guide*. Retrieved September 27, 2023, from <https://www.handsontec.com/dataspecs/HC-SR04-Ultrasonic.pdf>
- Hernandez, C., & Martínez, G. (2022). *DISEÑO DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD TORNILLO SIN FIN CORONA CONECTADO A UN MOLINO RIPPLE MILL*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Hibbeler, R. (2011). *Mechanics of Materials* (8th ed.).
- Infante, L. (2020). *Mueble industrial, escritorio graduable* [Universidad Jorge Tadeo Lozano]. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/14192>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. 179–187. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/libro.pdf

- Jänsch, J., & Birkhofer, H. (2006). THE DEVELOPMENT OF THE GUIDELINE VDI 2221 - THE CHANGE OF DIRECTION . *INTERNATIONAL DESIGN CONFERENCE*.
- JetsonHacks. (2020). *Jetson Xavier NX GPIO Header J12 PINOUT*. <https://jetsonhacks.com/nvidia-jetson-xavier-nx-gpio-header-pinout/>
- Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2024). *Speech and Language Processing. An Introduction to Natural Language Processing, Computational Linguistics, and Speech Recognition with Language Models* (3rd ed.). <https://web.stanford.edu/~jurafsky/slp3/ed3book.pdf>
- KHK Stock Gears. (s.f.). *Screw Gears*. Retrieved September 4, 2023, from <https://khkgears.net/pdf/2023/screw-gears.pdf>
- Lester, P. (2005). *A* Pathfinding for Beginners*. <https://csis.pace.edu/~benjamin/teaching/cs627/webfiles/Astar.pdf>
- Libby Spicer, & Zippin. (2023). *Post-Pandemic Hangover Causing \$555 Billion Headwinds for Brick and Mortar Retail as Shoppers Habitually Abandon Long Lines*. <https://www.getzippin.com/blog/post-pandemic-hangover-causing-555-billion-headwinds-for-retailers>
- Lozano, P. (2013). *Diseño de un simulador sísmico* [UNIVERSIDAD DE ALMERIA]. <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/2642/Trabajo.pdf>
- Luuk, I. (2020, April 17). *Arduino Scale with HX711 and 50kg Bathroom Scale Load Cells | Step by Step Guide*. - YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=Lluf2egMioA&ab_channel=Indrek
- Mayo Clinic. (2021). *Enanismo*. <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/dwarfism/symptoms-causes/syc-20371969>
- Meta AI. (s.f.). *Llama 2 - Resource Overview*. 2023. Retrieved August 31, 2023, from <https://ai.meta.com/resources/models-and-libraries/llama/>
- Millett, P. (2022, October 6). Brushless vs. Brushed DC Motors: When and Why to Choose One Over the Other. *Monolithic Power Systems*. https://media.monolithicpower.com/mps/cms_document/2/0/2021-brushless-vs-brushed-dc-motors-when-and-why-to-choose-one-over-the-other_r1.0.pdf
- Ministerio de Relaciones Exteriores. (2022, December). *Guía de Negocios FinTech 2022/2023*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3944750/EY%20Per%C3%BA%20Gu%C3%A Da%20de%20Negocios%20FinTech%202022-2023.pdf>
- Ministerio del Ambiente, & Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2021). *Climas del Perú. Mapa de Clasificación Climática Nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- Monroe Engineering. (s.f.-a). *How Spring Plungers Work*. Retrieved September 12, 2023, from <https://monroeengineering.com/info-how-spring-plungers-work.php>
- Monroe Engineering. (s.f.-b). *SPRING & BALL PLUNGERS*. Retrieved September 12, 2023, from <https://monroeengineering.com/assets/guides/monroe-all-about-ball-and-spring-plungers.pdf>
- Mount-It! (s.f.). *Standing Desk Converter*. Retrieved April 18, 2023, from <https://content.syndigo.com/asset/469b1c2d-26b8-4db3-ae34-4860f3cae47a/original.pdf>
- Mr. Shelf. (s.f.). *Supermarket Trolleys*. Retrieved April 9, 2023, from www.mrshelf.co.za
- Namwongsa, S., Puntumetakul, R., Neubert, M., & Boucaut, R. (2019). Effect of Neck Flexion Angles on Neck Muscle Activity among Smartphone Users With and Without Neck Pain. *Taylor & Francis*.
- Nanjing Jiangning Shuntai Precision Machinery Factory. (s.f.). *T5 T6 T8 T10 T12 Tr8 stainless steel 3d Printer Trapezoidal screw lead screw with brass nut*. Retrieved August 24, 2023, from https://www.alibaba.com/product-detail/T5-T6-T8-T10-T12-Tr8_1600901977236.html?spm=a2700.pccps_detail.0.0.34b713a0DT5ZQI

- Navarro, Á. (2019). *Análisis y cálculo de mesa elevadora de tijera simple para 2000 Kg. de carga* [Universidad Zaragoza]. <https://zaguan.unizar.es/record/87367/files/TAZ-TFG-2019-4391.pdf>
- Naylamp Mechatronics. (s.f.). *Sensor final de carrera mecánico RAMPS*. Retrieved November 30, 2024, from <https://naylampmechatronics.com/cnc-open-source-hw/137-sensor-final-de-carrera-mecanico-ramps.html>
- NEMO-Q. (2022, May 10). *How Does Wait Time Impact Customer Satisfaction?* . NEMO-Q. <https://www.nemo-q.com/2022/05/how-does-wait-time-impact-customer-satisfaction/>
- Nepal, U., & Eslamiat, H. (2022). *Comparing YOLOv3, YOLOv4 and YOLOv5 for Autonomous Landing Spot Detection in Faulty UAVs*. https://www.researchgate.net/publication/357684232_Comparing_YOLOv3_YOLOv4_and_YOLOv5_for_Autonomous_Landing_Spot_Detection_in_Faulty_UAVs
- OpenAI. (s.f.). *Key concepts*. Retrieved November 30, 2024, from <https://platform.openai.com/docs/concepts>
- OpenAI. (s.f.). *API Pricing*. Retrieved February 21, 2025, from <https://openai.com/api/pricing/>
- Pasamón, F. (2021). *Consumidores y tecnología, ejes de una estrategia de éxito | Deloitte España*. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/consumer-business/articles/consumidores-y-tecnologia.html>
- Pozyx. (2022, June). *Pozyx wearable tag*. <https://get.pozyx.io/hubfs/Datasheets/product%20sheet-wearable%20tag-June%2022.pdf>
- Decreto Supremo N°013-2016-Produce: Reglamento técnico sobre conductores eléctricos de cobre de baja tensión de uso en edificaciones domiciliarias, comerciales y usos similares, (2016). <https://www2.produce.gob.pe/dispositivos/publicaciones/ds013-2016-produce.pdf>
- Protolabs. (s.f.). *Moldeo por Inyección de Plásticos*. Retrieved November 22, 2023, from <https://www.protolabs.com/es-es/servicios/moldeo-por-inyeccion/moldeo-por-inyeccion-de-plasticos/>
- Qian, K., Niu, J., & Yang, H. (2013). Developing a Gesture Based Remote Human-Robot Interaction System Using Kinect. *International Journal of Smart Home*. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=62d4a156a8bdd052374b9b08d058452a1afec24>
- Ramos, C. (2009). SISTEMA DE INTERACCIÓN HUMANO – ROBOT BASADO EN VOZ PARA EL ENTRENAMIENTO DE COMPORTAMIENTOS [Instituto Tecnológico Autónomo de México]. In *Frontiers in Systems Neuroscience* (Vol. 8, Issue 1 APR). <https://doi.org/10.3389/FNSYS.2014.00052/FULL>
- Raspberry Pi. (2024). *Camera - Raspberry Pi Documentation*. Raspberry Pi Documentation - Camera. <https://www.raspberrypi.com/documentation/accessories/camera.html>
- Rath, S., & Gupta, V. (2022, November). *Performance Comparison of YOLO Object Detection Models – An Intensive Study*. LeanOpenCV. <https://learnopencv.com/performance-comparison-of-yolo-models/>
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An Incremental Improvement. *ArXiv*. <https://arxiv.org/abs/1804.02767>
- RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 075-2023-VIVIENDA, (2023). <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/modificacion-de-la-norma-tecnica-a-120-accesibilidad-univers-resolucion-ministerial-n-075-2023-vivienda-2152217-1>
- Resolución Ministerial N° 061-2021-VIVIENDA, 7 (2021). https://cdn-web.construccion.org/normas/files/vivienda/RM_061-2021-Vivienda.pdf
- Robert L. Norton. (2009). *Diseño de maquinaria*.

- Rodero, E. (2001). El tono de la voz masculina y femenina en los informativos radiofónicos: un análisis comparativo. *Congreso Internacional Mujeres, Hombres y Medios de Comunicación, Junta de Castilla y León, Valladolid*, 2. <https://www.bocc.ubi.pt/pag/rodero-emma-tono-voz-femenina.pdf>
- Ryumin, D., Ivanko, D., Axyonov, A., Kagiroy, I., Karpov, A., & Zelezny, M. (2019). Human-Robot Interaction with Smart Shopping Trolley using Sign Language: Data Collection. *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00317-3>
- Serway, R., & Jewett, J. (2014). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*. <https://www.lehman.edu/faculty/anchordoqui/SJ1.pdf>
- Shop Equipment Limited. (s.f.). *Standard Shopping Trolley - 210 L with lock*. Retrieved April 9, 2023, from <https://www.shopequipment.ie/products/standard-shopping-trolley-210-l>
- Shopping Trolleys Ireland. (s.f.). *Duka 210L Shopping*. Retrieved April 9, 2023, from <https://www.shoppingtrolleys.ie/product/210l-duka-shopping-trolley/>
- Stock Drive Products Sterling Instrument. (s.f.). *LONG-LOK SPRING PLUNGERS*. Retrieved September 12, 2023, from <https://www.sdp-si.com/PDFS/Plungers-Metric.pdf>
- Tandazo, D., Loja, A., & Rojas, R. (2020). *SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA AUTOMATIZADA PARA DOSIFICACION Y APLANADO DE MASA PARA EMPANADAS* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21311/1/CD%2010829.pdf>
- TRACXPOINT. (s.f.). *Daivi® - Carrito de compras inteligente de inteligencia artificial*. Retrieved April 8, 2023, from <https://tracxpoint.com/es/productos-y-sistemas/daivi/>
- Tymbia. (s.f.). *Carro Supermercado 180L*. Carro Supermercado 180L. Retrieved April 3, 2023, from <https://www.tymbia.com/es/producto/1270-carro-supermercado-180l-supermercados-y-almacenes-a305050009>
- Ultralytics. (2023). *Ultralytics YOLOv8*. <https://docs.ultralytics.com/es/models/yolov8/#can-i-benchmark-yolov8-models-for-performance>
- Vanegas, L. (2018). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Editorial Universidad Tecnológica de Pereira. <https://core.ac.uk/download/pdf/158348444.pdf>
- Venkatkumar, R. (2023). *YoloV8 Architecture & Cow Counter With Region Based Dragging Using YoloV8*. https://medium.com/@VK_Venkatkumar/yolov8-architecture-cow-counter-with-region-based-dragging-using-yolov8-e75b3ac71ed8
- Verma, M., Singh, S., & Kaur, B. (2015). An Overview of Bluetooth Technology and its Communication Applications. *International Conference of Current Engineering and Technology*. https://www.researchgate.net/publication/276251559_An_Overview_of_Bluetooth_Technology_and_its_Communication_Applications
- Walmart Chile. (s.f.). *Walmart Chile lanza innovador y pionero sistema que agiliza el proceso de compras en tiendas*. Retrieved April 8, 2023, from <https://www.walmartchile.cl/walmart-chile-lanza-innovador-y-pionero-sistema-que-agiliza-el-proceso-de-compras-en-tiendas/>
- Wanzl. (s.f.). *Shopping trolleys*. Retrieved April 9, 2023, from https://www.wanzl.com/Downloads/Prospekte/Retail/1193_Shopping-trolleys_EN.pdf
- Wixroyd. (s.f.). *Spring Plungers from Wixroyd*. Retrieved September 12, 2023, from <https://www.wixroyd.com/en/page/spring-plungers-from-wixroyd>
- Young, J., Trudeau, M., Odell, D., Marinelli, K., & Dennerlein, J. (2011). *Touch-screen tablet user configurations and case-supported tilt affect head and neck flexion angles*. <https://content.iospress.com/download/work/wor01337?id=work%2Fwor01337>
- Zhang, H., Wei-ming Lin, & Ai-xia Chen. (2018). Path Planning for the Mobile Robot: A Review. *Symmetry*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/sym10100450>

ANEXOS

ANEXO A: Lista de requerimientos

LISTA DE REQUERIMIENTOS				
Proyecto	Diseño de un carro de compras inteligente para supermercados del Perú			Elaborado:
				Revisado:
Fecha	Categoría	Deseo o exigencia	Descripción	Responsable
				Lucía Gabriela Sarmiento Calderón
				José Balbuena Galván
22/04/23	Función principal	E	Brindar una experiencia de compra personalizada a los usuarios a través de un sistema de escaneo automático de productos, pago en el carro de compras para evitar colas y asistencia durante todo el proceso de compra por medio de voz y de una interfaz gráfica.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Función principal	E	Garantizar la accesibilidad del carro a personas con discapacidad auditiva, visual parcial y total y en silla de ruedas, así como a personas con enanismo.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Geometría	E	Ancho máximo de 1.20 metros y altura máxima de 1 metro.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Geometría	E	Utilizar un mecanismo de giro que permita un diámetro de giro al usuario menor a 1 metro	Lucía Sarmiento
22/04/23	Fuerzas	E	Peso máximo del carro de compras sin cargas de 35 kg.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Fuerzas	E	Soportar un peso mínimo de 40 kg por más de 10 horas de manera consecutiva sin deformarse.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Fuerzas	E	Mantener la altura de la cesta en la posición fijada por el usuario independientemente del peso que soporte durante el proceso de compra.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Ergonomía	E	Permitir regular la altura del carro entre 60 y 120 centímetros.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Cinética	E	Desplazarse en suelos con coeficiente de fricción según ISO 1045-17 sin resbalar.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Cinemática	E	Velocidad máxima de variación de altura de 2 cm/s.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Cinemática	E	Utilizar ruedas que permitan el giro del carro en cualquier dirección y distribuir las en el carro para que permitan realizar el giro cuando se encuentre dentro de los pasillos de la tienda (diámetro de giro menor a 1.20m).	Lucía Sarmiento

22/04/23	Señales	E	<p>Señales de entrada:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Encendido/apagado del sistema • Señal de descenso/ascenso del carro • Restablecimiento de altura del carro • Activación/desactivación del modo de guía y asistencia por voz. • Activación del reconocimiento de voz • Modulación del volumen de la guía por voz. 	Lucía Sarmiento
22/04/23	Señales	E	<p>Señales de salida:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generación del lenguaje natural para la comunicación con el usuario. • Imágenes y mensajes en la interfaz que brinden información como: Productos ingresados en el carro, promociones en la tienda, mapa del carro dentro del local, entre otros. • Luz que señala estado del carro en base a colores: azul (En proceso de compra), verde (pago realizado), blanco (persona con discapacidad visual), anaranjado (carro cargando su batería) y amarillo (carga de batería finalizada). • Nivel de batería del sistema 	Lucía Sarmiento
22/04/23	Interacción	E	<ul style="list-style-type: none"> • Comandos de voz: <ul style="list-style-type: none"> ○ Utilizar reconocimiento del lenguaje natural para reconocer las palabras del usuario. ○ Filtrar el ruido para garantizar el reconocimiento adecuado en ambientes ruidosos. • Interfaz visual táctil: Permitir modificar el tamaño del texto para personas con discapacidad visual parcial. 	Lucía Sarmiento
22/04/23	Interacción	D	Contar con una asistente virtual que permita resolver una amplia gama de preguntas de los clientes por texto y voz.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Electrónica	E	Funcionamiento con baterías que garanticen una autonomía mínima de 10 horas	Lucía Sarmiento
22/04/23	Electrónica	E	<p>Sensores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Micrófonos • Cámaras • Sensores de ubicación del vehículo • Sensores para detectar obstáculos 	Lucía Sarmiento
22/04/23	Electrónica	E	<p>Actuadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Accionamiento del sistema de elevación 	Lucía Sarmiento
22/04/23	Electrónica	E	Se utilizará un microcomputador para realizar el procesamiento requerido por el	Lucía Sarmiento

			sistema.	
22/04/23	Seguridad	E	Sistema contará con protección IP65 (polvo y chorros de agua de cualquier dirección)	Lucía Sarmiento
22/04/23	Seguridad	E	Aislar completamente los circuitos eléctricos para evitar su contacto con las personas y utilizar conductores aislados que cumplan con la sección, espesor y diámetro indicados en el “Reglamento Técnico sobre Conductores Eléctricos de cobre de baja tensión de uso en Edificaciones Domiciliarias, Comerciales y Usos Similares”	Lucía Sarmiento
22/04/23	Software	E	Realizar un algoritmo de reconocimiento de productos que ingresen o salgan del carro de compras.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Software	E	Realizar el reconocimiento y generación de lenguaje natural.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Software	E	Realizar una interfaz gráfica para la interacción táctil con los usuarios.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Software	D	Reconocer productos ubicados en los anaqueles para guiar a personas con discapacidad visual.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Control	E	Controlar el ascenso o descenso del carro de compras.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Fabricación	E	Fabricar piezas que no se encuentren afectadas por el peso de las compras por técnicas de prototipado rápido.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Fabricación	E	Fabricar piezas que soportan carga de acuerdo con los materiales y técnicas obtenidos a partir de cálculos de resistencia.	Lucía Sarmiento
22/04/23	Uso	E	Soportar temperaturas entre 5°C y 30°C	Lucía Sarmiento
22/04/23	Uso	E	Funcionar adecuadamente en entornos de 90% de humedad máxima.	Lucía Sarmiento

ANEXO B: Estructura de funciones

B.1 Dominio Energía

En este dominio se detallan las funciones correspondientes a la energización de los componentes del sistema. A continuación, se explica cada función definida en la Figura B.1.

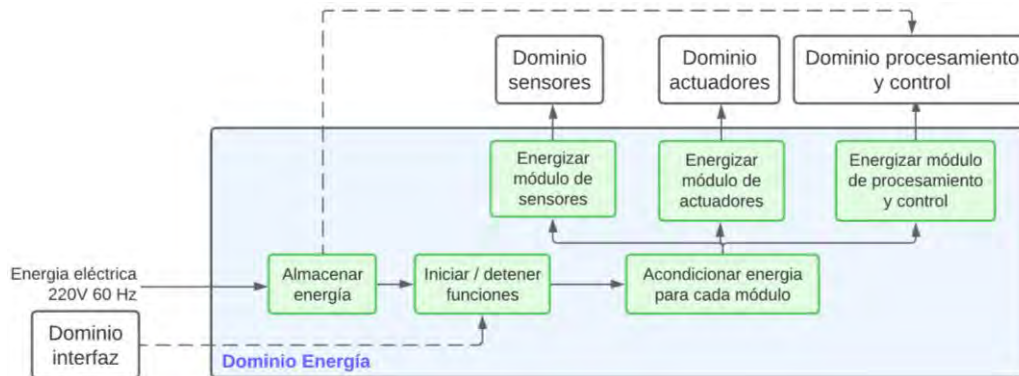


Figura B.1 Dominio Energía (Elaboración propia)

- Almacenar energía: Las baterías son las encargadas de almacenar la energía eléctrica para que puedan distribuirla al sistema durante su funcionamiento.
- Iniciar/detener funciones: La señal de 'Encender/Apagar sistema' habilita o deshabilita el paso de corriente al sistema para que inicie o detenga su funcionamiento.
- Acondicionar energía para cada módulo: Los componentes eléctricos requieren de voltajes de alimentación distintos, por ello es necesario acondicionar la energía para cada uno de ellos.
- Energizar módulo de sensores: Permite brindar energía eléctrica a los sensores del sistema.
- Energizar módulo de actuadores: Permite brindar energía eléctrica a los actuadores del sistema.
- Energizar módulo de procesamiento y control: Permite brindar energía eléctrica a los componentes encargados del procesamiento y control.

B.2 Dominio Mecánico

En este dominio se encuentran las funciones orientadas a definir el comportamiento mecánico del sistema. A continuación, se detallarán estas funciones, las cuales son mostradas en la Figura B.2.

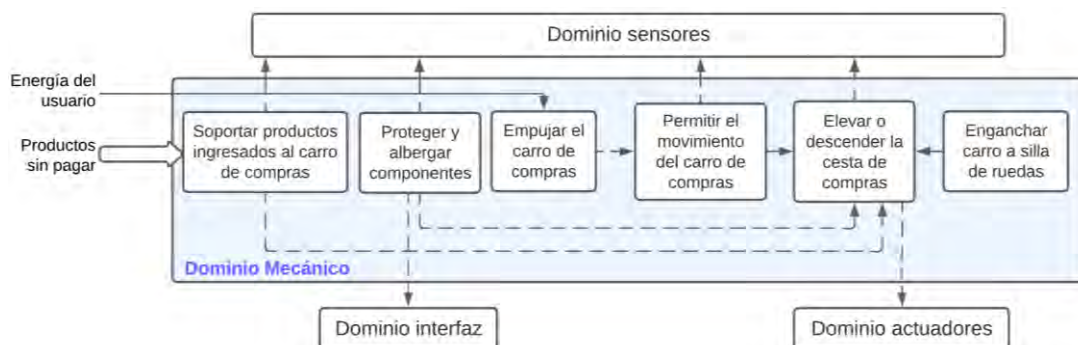


Figura B.2 Dominio Mecánico (Elaboración propia)

- Proteger y albergar componentes: Garantizar que todos los componentes del sistema se encuentran protegidos y posicionados de manera fija y segura dentro del carro de compras.
- Soportar productos ingresados al carro de compras: Se debe de soportar el peso generado por los productos que ingresan al carro de compras sin que este se deforme o quiebre.
- Empujar el carro de compras: El usuario es quien empuja al carro para que este se desplace.
- Permitir el movimiento del carro de compras: Se debe de garantizar el movimiento del carro de manera adecuada dentro de la tienda para que el usuario realice sus compras de manera cómoda.
- Permitir la elevación y descenso del carro de compras: El usuario debe de poder regular la altura del carro de compras para que esta se ajuste a sus necesidades.
- Enganchar carro a silla de ruedas: Se debe de garantizar el enganche a sillas de ruedas para que los usuarios en ellas puedan realizar sus compras y movilizarse dentro del local.

B.3 Dominio Sensores

En este dominio se definen las funciones que permiten la medición de variables del entorno como se observa en la Figura B.3. Además, se realizará una explicación de cada una de estas funciones.

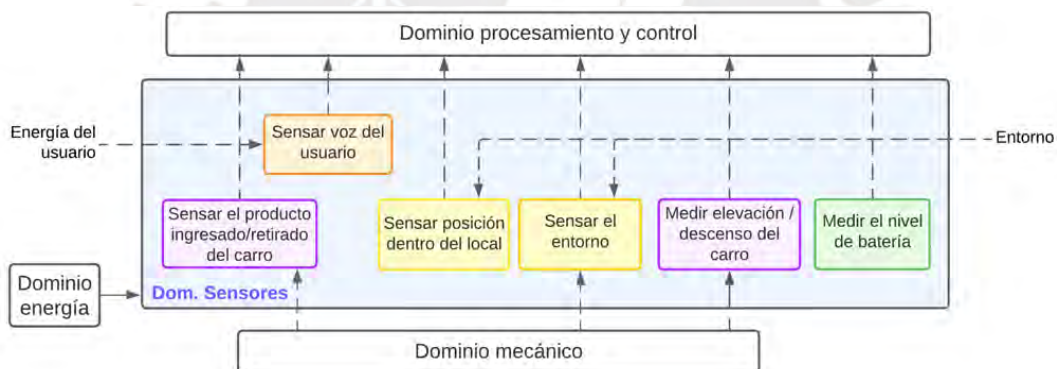


Figura B.3 Dominio Sensores (Elaboración propia)

- Identificar el producto ingresado o retirado del carro: Se debe de reconocer cuando se ingresa un producto del carro de compras para proceder con el reconocimiento de este.
- Identificar posición dentro del local: El carro de compras debe conocer su ubicación dentro del local para poder guiar al usuario cuando este solicite dirigirse hacia un producto o lugar.
- Inspeccionar el entorno: El carro de compras debe de detectar la cercanía de objetos a este para que brinde indicaciones a personas con discapacidad visual.
- Reconocer voz del usuario: Se requiere captar las palabras del usuario para la interacción.
- Medir elevación/descenso del carro
- Medir el nivel de batería: Se debe de conocer el nivel de la batería para conocer cuándo es necesario cargar el carro o cuando esta carga culminó.

B.4 Dominio Procesamiento y control

En este dominio se definen las funciones relacionadas con el control y procesamiento de información dentro del carro de compras, las cuales se pueden observar en la Figura B.4.

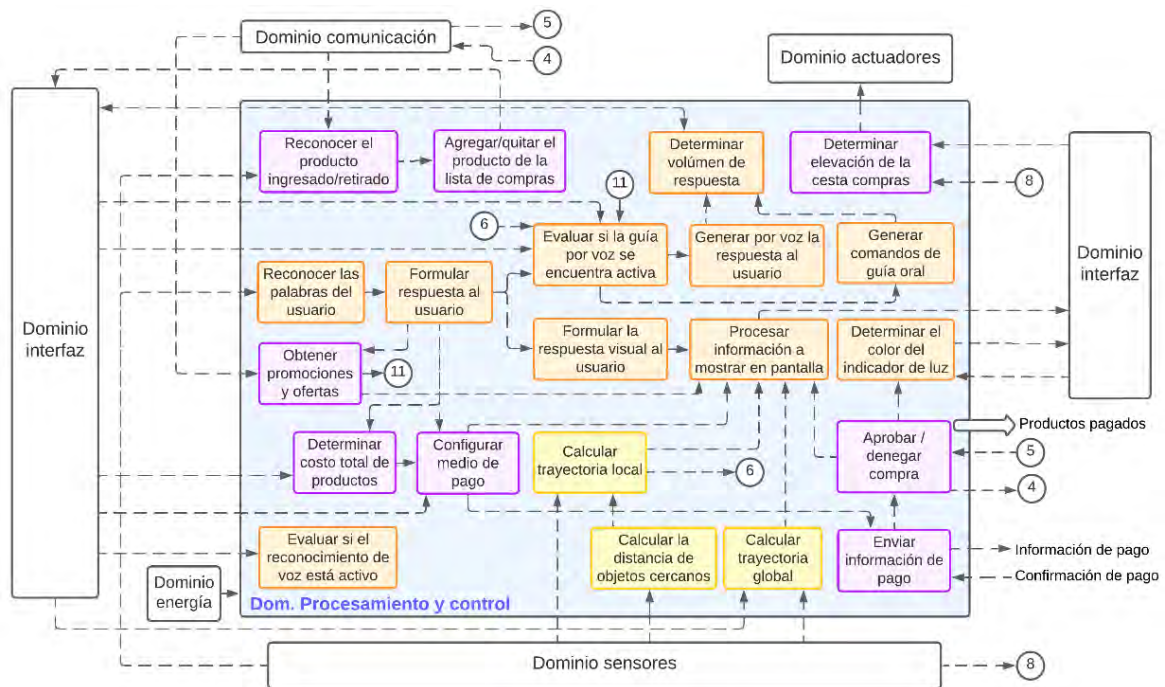


Figura B.4 Dominio Procesamiento y control (Elaboración propia)

- Reconocer el producto ingresado/retirado: Se debe de identificar al producto que es ingresado o retirado del carro de compras a través de su código de barras.
- Agregar/quitar producto de la lista de compras del usuario: Se debe agregar o retirar de la lista de compras del usuario el producto reconocido previamente.
- Evaluar si el reconocimiento de voz está activo: El usuario activa el reconocimiento de voz a través de una señal, por ello se debe evaluar si este está activo.
- Reconocer las palabras del usuario: Se identifican los comandos por voz del usuario.
- Formular respuesta al usuario: A partir del mensaje del usuario, se formula la respuesta.
- Evaluar si la guía por voz se encuentra activa: El usuario elige si desea la asistencia por voz o prefiere tener una asistencia solo visual. Por ello, se debe evaluar si esta opción está activa.
- Formular por voz la respuesta al usuario: Para responder de manera oral a la pregunta formulada por el usuario, el sistema realiza la generación el lenguaje natural.
- Formular respuesta visual al usuario: Se despliega la respuesta al usuario de manera visual.
- Calcular la distancia de objetos cercanos al carro: Con la información dada por el sensor, se calcula la distancia de objetos externos para identificar posibles riesgos.
- Calcular trayectoria local: Haciendo uso de la posición y la distancia de objetos al carro, se puede guiar al usuario dentro de la tienda a medida que este camina.

- Calcular trayectoria global: Con el sensor de posición se traza de manera general el recorrido que el usuario debe de seguir para llegar a su destino.
- Generar comandos de guía oral: Generar el lenguaje natural oral para dar indicaciones por voz que permitan la navegación dentro del local.
- Determinar volumen de respuesta: El usuario define el volumen del sistema, por ello se debe de identificar cuál es el volumen establecido antes de brindar una respuesta oral.
- Obtener promociones y ofertas: Se obtienen las promociones y ofertas actuales a partir de la información obtenida de la base de datos para mostrarla a los usuarios.
- Determinar el costo de los productos: Se calcula el costo de los productos dentro del carro de compras cuando el usuario desea proceder con el pago.
- Configurar medio de pago: Se consulta al usuario si desea realizar el pago en el POS (*Point of Sale*) integrado en el carro o si desea pagar en efectivo en una caja de pago.
- Enviar información de pago: Se envía el monto a pagar al POS en caso de pago con tarjetas o billeteras digitales, y el código de pago en caso de pago en efectivo.
- Aprobar/denegar compra: Se recibe la confirmación del pago de los productos del POS o caja de pago si se pagó en efectivo, por lo cual se procede a mostrar esta información al usuario y cambiar el color de la luz led a azul que indica que las compras ya fueron pagadas.
- Procesar información a mostrar en pantalla: Se determina el contenido a mostrar en la pantalla en base a las señales ingresadas por el usuario y el procesamiento generado.
- Determinar el color del indicador de luz: La luz emitida por el carro proporciona información. Por ello, se evalúa si está activado el modo de ‘Persona con discapacidad’, si se ha realizado el pago o la batería del carro, para determinar el color a emitir.
- Determinar el movimiento de la cesta de compras: A través de botones en la interfaz el usuario determina la altura ideal de la cesta de compras.

B.5 Dominio Actuadores

En el dominio de actuadores se presentan las funciones que permiten accionar y generar movimiento dentro del sistema como se muestra en la Figura B.5.

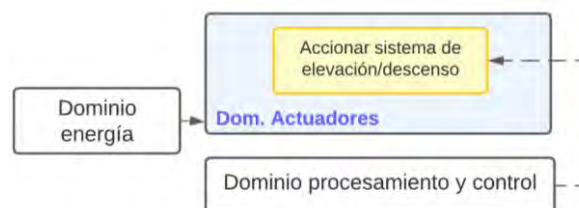


Figura B.5 Dominio Actuadores (Elaboración propia)

- Accionar sistema de elevación/descenso: Accionar el actuador que permita modificar la altura del carro de compras de acuerdo con lo calculado en la etapa de procesamiento.

B.6 Dominio Interfaz

En este dominio se encuentran las funciones correspondientes a la interfaz visual y por voz del carro de compras inteligente como se observa en la Figura B.6.

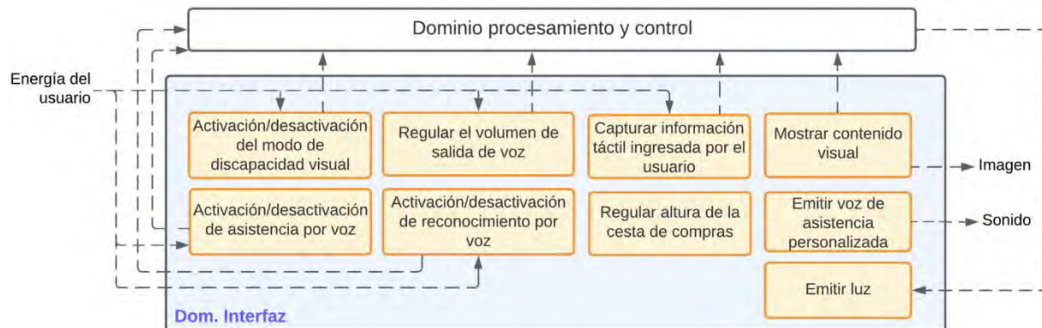


Figura B.6 Dominio Interfaz (Elaboración propia)

- Activación/desactivación del modo de discapacidad visual: Se requiere activar/desactivar este modo para que herramientas como guía por voz e identificación de obstáculos sean activadas.
- Activación/ desactivación del modo de asistencia por voz: Se brinda a los usuarios la posibilidad de decidir si desean una asistencia por voz o solo visual.
- Activación/ desactivación del reconocimiento de voz: Con el objetivo de evitar el reconocimiento de palabras del entorno, el usuario activa el reconocimiento de voz de manera momentánea mientras habla para que el sistema únicamente reconozca su voz.
- Regular el volumen de salida de voz: Se requiere brindar la posibilidad de regular el volumen de la asistencia para que el usuario lo adapte a sus necesidades.
- Capturar información táctil ingresada por el usuario: Se desea recolectar la información que el usuario ingresa por medio de la pantalla táctil para poder generar una respuesta a ello.
- Mostrar contenido visual: Se muestra el contenido de acuerdo con la interacción con el usuario.
- Emitir voz de asistencia personalizada: Generar la voz de respuesta al usuario.

B.7 Dominio Comunicación

En este dominio se definen funciones para la comunicación del carro de compras inteligente con sistemas externos para el intercambio de información como se observa en la Figura B.7.

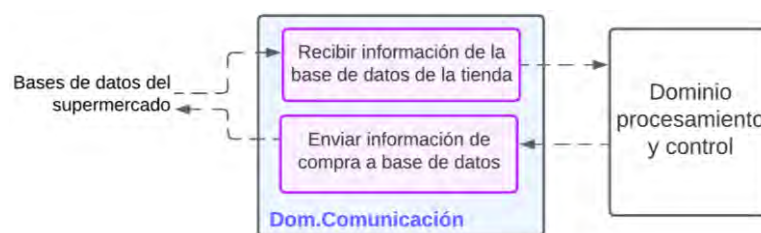



Figura B.7 Dominio Comunicación (Elaboración propia)


- Recibir información de la base de datos de la tienda
- Enviar información de transacción a base de datos


ANEXO C: Matriz morfológica

En la matriz morfológica se definen las tecnologías que podrían ser utilizadas para satisfacer cada función en la estructura de funciones. En esta sección se dividirá la matriz morfológica según cada subsistema para un mejor análisis y en el Anexo B se puede observar la tabla general.












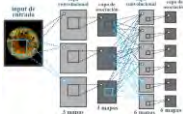

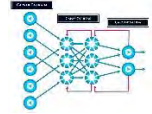
Asimismo, por cada subsistema se selecciona el componente a ser utilizado por cada propuesta de solución. El color celeste representa a la propuesta de solución 1, el verde a la propuesta 2 y el amarillo a la propuesta 3.

 Propuesta 1

 Propuesta 2

 Propuesta 3


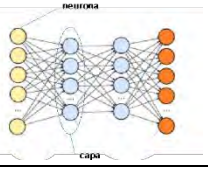
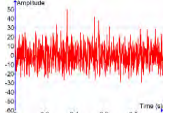


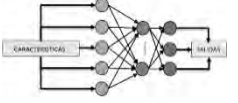


















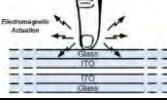
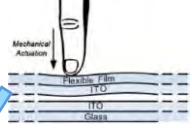



Subsistema de compra de productos

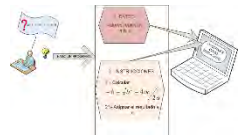

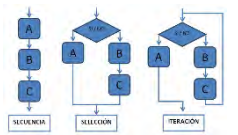
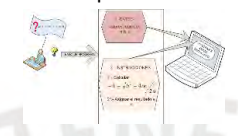

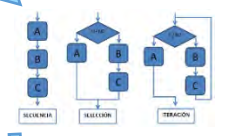



Dominio	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Sensores	Detectar el producto ingresado/retirado del carro	Cámaras + lector de código de barras 	Lector de código de barras 	Lector RFID 
	Medir elevación/descenso de la cesta de compras	Sensor de distancia láser 	Galga extensiométrica 	Ultrasonido 
Procesamiento y control	Reconocer el producto ingresado/retirado del carro	Microcontrolador 	Computador 	
	Agregar/quitar el producto de la lista de compras del usuario			
	Determinar costo total de productos			
	Configurar medio de pago			
	Aprobar/denegar compra			
	Determinar elevación de la cesta			
Procesar pago de los productos	POS app 	POS móvil 	POS pantalla táctil 	
Software	Reconocer el producto ingresado/retirado del carro	Red neuronal convolucional 	API de detección de objetos 	Red neuronal recurrente 

	Agregar/quitar el producto de la lista de compras del usuario	<p>Programación imperativa</p>	<p>Programación orientada a objetos</p>	<p>Programación estructurada</p>
	Determinar costo total de productos			
	Configurar medio de pago			
	Aprobar/denegar compra			
	Determinar elevación de la cesta			
Comunicación	<p>Recibir información de la base de datos de la tienda</p> <p>Enviar información de transacción a base de datos</p>	<p>API RESTful (Service request)</p>	<p>Conexión con credenciales y consultas SQL</p>	<p>ORM (Mapeo objeto-relacional)</p>









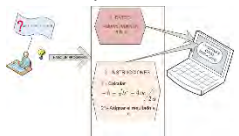

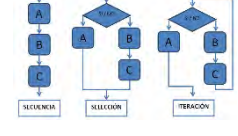
Subsistema de interacción humano-robot

Dominio	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Procesamiento y control	Evaluar si el reconocimiento de voz está activo	<p>Microcontrolador</p>	<p>Computador</p>	<p>Programación estructurada</p>
	Reconocer las palabras del usuario			
	Identificar las palabras clave			
	Evaluar si la guía por voz se encuentra activa			
	Formular por voz la respuesta al usuario			
	Generar comandos de guía oral			
	Determinar volumen de respuesta			
	Formular la respuesta visual al usuario			
	Procesar información a mostrar en pantalla			
	Determinar el color de luz emitida			
Software	Evaluar si el reconocimiento de voz está activo	<p>Programación imperativa</p>	<p>Programación orientada a objetos</p>	<p>Programación estructurada</p>
	Identificar las palabras clave			
	Evaluar si la guía por voz se encuentra activa			
	Generar comandos de guía oral			
	Determinar volumen de			

		respuesta			
		Formular la respuesta visual al usuario			
		Procesar información a mostrar en pantalla			
		Determinar el color de luz emitida			
		Reconocer las palabras del usuario	Application programming interfaces (API) 	Algoritmos de reconocimiento de voz 	Identificación con procesamiento de señales 
		Formular por voz la respuesta al usuario	Application programming interfaces (API) 	Transformadores de lenguaje pre-entrenados 	Modelo basado en patrones de reconocimiento 
		Identificar voz del usuario	Micrófono de condensador 	Micrófono dinámico 	Micrófono de cinta 
		Activación/desactivación del modo de discapacidad visual	Switch on/off 	Push button 	Pantalla táctil 
Activación/desactivación de asistencia por voz	Switch on/off 	Push button 	Pantalla táctil 		
Activación/desactivación del reconocimiento de voz	Switch on/off 	Push button 	Pantalla táctil 		
Regular volumen de salida	Regulador 	Botones 	Pantalla táctil 		
Regular altura de la cesta de compras	Manualmente 	Botones 	Pantalla táctil 		
Capturar información táctil ingresada por el usuario	Pantalla táctil capacitiva 	Pantalla táctil resistiva 	Gafas de realidad aumentada 		
Mostrar contenido visual					
Emitir voz de asistencia personalizada	Altavoces acoplados al carro 	Audífonos 			

	Software	Activación/desactivación del modo de discapacidad visual	 <p>Programación imperativa</p>	 <p>Programación orientada a objetos</p>	 <p>Programación estructurada</p>
		Activación/desactivación del modo de asistencia por voz			
		Activación/desactivación del reconocimiento de voz			
		Regular volumen de salida			
		Regular altura de la cesta de compras			
Actuadores	Hardware	Capturar información táctil ingresada por el usuario	 <p>Programación imperativa</p>	 <p>Programación orientada a objetos</p>	 <p>Programación estructurada</p>
		Accionar sistema de elevación/descenso	 <p>Cilindro neumático</p>	 <p>Motor eléctrico</p>	 <p>Manualmente</p>

Subsistema de navegación





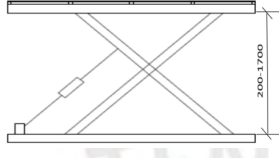
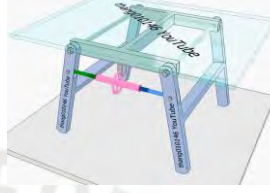
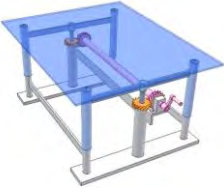


Dominio	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	
Sensores	Medir posición dentro del local	 <p>Tecnología UWB (<i>ultra wide-band</i>)</p>	 <p>Localización por wifi</p>	 <p>Radiofrecuencia (RF)</p>	
	Identificar el entorno	 <p>Infrarrojo</p>	 <p>Cámara</p>	 <p>Ultrasonido</p>	
Procesamiento y control	Hardware	Calcular la distancia de objetos cercanos al carro	 <p>Microcontrolador</p>	 <p>Computador</p>	
		Calcular trayectoria global			
	Software	Calcular la distancia de objetos cercanos	 <p>Programación imperativa</p>	 <p>Programación orientada a objetos</p>	 <p>Programación estructurada</p>
		Realizar el control de posición			
		Calcular trayectoria global			
Calcular trayectoria local					

Subsistema de energía

Dominio	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Sensores	Medir energía	Sensor de diferencia de tensión 	Divisor de voltaje 	
		Almacenar energía	Baterías LiPo 	Baterías de plomo ácido
Energía	Iniciar / detener funciones	Botón 	Switch 	
	Separar etapas de potencia y control	Relé 	Optoacoplador 	Transformador de control
	Acondicionar energía para cada módulo	Regulador conmutable de voltaje 	Regulador lineal 	Regulación con diodo Zener
	Energizar módulo de sensores			
	Energizar módulo de actuadores			
	Energizar módulo de procesamiento y control			

Subsistema mecánico

Dominio	Función	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Mecánico	Proteger y albergar componentes	Carcasa de plástico 	Carcasa de metal 	Carcasa de material compuesto
	Almacenar productos ingresados al carro de compras	Cesta de compras de metal 	Cesta de compras de plástico 	

	<p>Empujar el carro de compras</p>	<p>Mango de plástico</p> 	<p>Mango de metal</p> 	
	<p>Permitir el movimiento del carro de compras</p>	<p>Ruedas giratorias</p> 	<p>Ruedas motrices</p> 	
	<p>Elevar y descender la cesta de compras</p>	<p>Mecanismo de tijera simple</p> 	<p>Mecanismo tornillos sin fin</p> 	<p>Mecanismo con engranajes helicoidales y tornillo sin fin</p> 
	<p>Enganchar carro a silla de ruedas</p>	<p>Mecanismo de enganche metálico</p> 	<p>Correas de enganche entre carro y silla de ruedas</p> 	



ANEXO D: Conceptos de solución

Concepto de solución 1

En la siguiente sección se detalla el planteamiento del concepto de solución 1, el cual puede visualizarse en la Figura D.1.

En el aspecto mecánico, el concepto de solución 1 propone el uso de un mecanismo de tornillos sin fin con accionamiento manual para la elevación y descenso del carro de compras con cesta metálica y mango de plástico. Además, para el desplazamiento se cuentan con 2 ruedas giratorias y 2 motrices, por lo que el diámetro de giro del carro será mayor a la longitud de este pues no puede girar sobre su eje o sobre alguna rueda delantera. Asimismo, para el uso de personas con sillas de ruedas se propone el uso de correas de enganche que les permitan desplazarse con el carro de compras y la parte superior de la cesta puede ser plegada para facilitar el acceso a la cesta a personas con sillas de ruedas. Estas características se pueden observar en la Figura D.2.

En el dominio de sensores, se propone el uso de cámaras distribuidas en el contorno de la canasta para la identificación de productos para productos empaquetados, para aquellos que tengan un código de barras de acuerdo con el peso como frutas, verduras y carnes se hace uso de un escáner de códigos de barras. Estas imágenes son enviadas a una API de reconocimiento de objetos para identificar a los productos ingresados o retirados de la cesta. Otro sensor utilizado es el infrarrojo para identificar obstáculos en el entorno, lo cual es muy importante para personas con discapacidad visual. Además, para brindar indicaciones dentro del local, se utilizan localización por Wi-Fi como se observa en la Figura D.3 y se cuenta con cámaras para reconocer marcadores de posición dentro del local que permitan realizar un control de localización del carro.

Los dispositivos utilizados para la interacción son un micrófono, altavoces y una pantalla táctil. El micrófono condensador permite reconocer la voz del usuario cuando este activa el reconocimiento con un switch. Además, se propone el uso de una pantalla táctil resistiva, la cual detecta el contacto con cualquier objeto ya sea un dedo, guantes o lapiceros, pero no cuenta con alta sensibilidad al tacto, pues requiere de presión para detectar lo seleccionado por el usuario.

En el dominio de procesamiento y control, se seleccionan tanto un microcontrolador como un computador, los cuales permitirán una distribución adecuada de tareas de procesamiento entre ellos para evitar la saturación de alguno de ellos. Para el pago de productos se utiliza un POS móvil, el cual recibe la información de pago de la interfaz y permite el pago con tarjeta al usuario.

Por otro lado, para la energización de los subsistemas, se propone el uso de una batería LiPo. El voltaje de esta será adaptado a través de un circuito de regulación con diodo Zener. Para encender o apagar el sistema, se hará uso de un botón on/off y un optoacoplador permitirá separar las etapas de procesamiento y potencia para prevenir daños por picos de corriente. Además, se utilizará un divisor de voltaje para medir la batería.

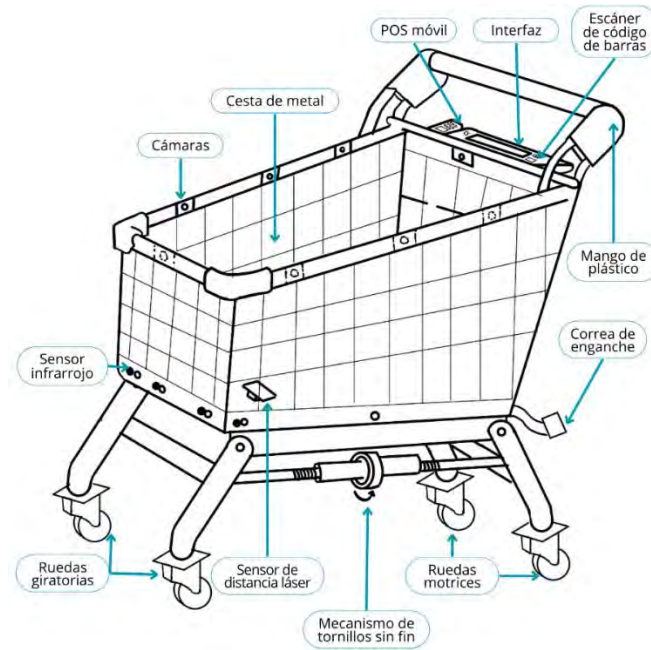


Figura D.1 Concepto de solución 1 (Elaboración propia)



Figura D.2 Localización por Wi-Fi del concepto de solución 1 (Elaboración propia)



Figura D.3 Concepto 1 adaptado a personas con sillas de ruedas (Elaboración propia)

Concepto de solución 2

En la siguiente sección se detalla el planteamiento del concepto de solución 2, el cual puede observarse en la Figura D.4.

En el dominio mecánico, se propone un carro de compras con cesta de plástico y mango de metal que cuente con una carcasa metálica para la protección de los componentes del sistema. Este concepto propone el uso de 4 ruedas giratorias en el carro, lo cual permitiría el giro del carro sobre su propio eje. Esto facilita el movimiento a la persona dentro del local en especial al girar entre los pasillos. Asimismo, para elevar a descender la cesta del carro, se propone un mecanismo de tijera simple, el cual es accionado por un cilindro neumático. Además, para el uso de personas con sillas de ruedas, se propone el uso de un sistema de enganche metálico que facilite el manejo del carro a estas personas y la parte posterior del carro de compras es plegable para facilitar el uso a personas con discapacidad visual como se observa en la Figura D.5.

En el dominio de sensores se propone el uso de un lector de código de barras para la identificación de los productos, por lo que el usuario tiene que manualmente escanearlos antes de ingresarlos o retirarlos. Además, se emplea una galga extensiométrica para la medición de la elevación del carro a través de la variación de su resistencia. También se cuenta con un micrófono de cinta para el reconocimiento de voz, el cual cuenta con una amplia respuesta en frecuencia para reconocer tonos altos y bajos. Por otro lado, para la ubicación del carro dentro del local se emplean sensores Wi-Fi como se observa en la Figura D.6 y se realiza un control de lazo cerrado con marcadores de posición dentro del local sensados a través de un sensor infrarrojo. Con el objetivo de prevenir al usuario de obstáculos en su camino se hace uso de una cámara.

En los dispositivos de interacción con el usuario, se propone una pantalla resistiva para la interacción táctil, la cual permite reconocer el contacto con cualquier objeto por lo que reconoce el contacto de guantes, lapiceros para pantalla, dedos, entre otros. Además, se emplean audífonos para escuchar sin el ruido externo los comandos o indicaciones del carro.

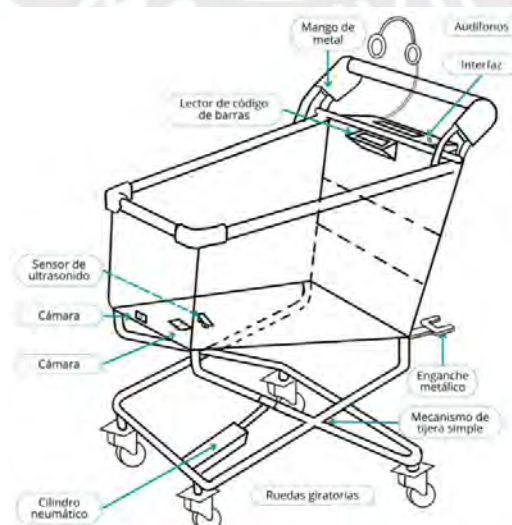


Figura D.4 Concepto de solución 2 (Elaboración propia)



Figura D.5 Localización por Wi-Fi del concepto de solución 2 (Elaboración propia)



Figura D.6 Concepto 2 adaptado a personas con sillas de ruedas (Elaboración propia)

Concepto de solución 3

En la siguiente sección se describe y esboza el concepto de solución 3 propuesto para el carro de compras inteligente, el cual se puede observar en la Figura D.7.

En el dominio mecánico, se propone la fabricación en plástico de la cesta, el mango y la carcasa de protección de los componentes, lo cual permitirá aligerar el peso del carro para una mejor ergonomía del usuario y garantizará el funcionamiento del carro en entornos salinos y con humedad pues no se generará oxidación de estos componentes exteriores. Asimismo, se propone el uso de 4 ruedas giratorias, lo cual permitirá un adecuado giro del carro con un diámetro de giro menor a la longitud del carro. Se propone el uso de un mecanismo de engranajes helicoidales con tornillo sin fin que pueda ser accionado por un motor para el ascenso y descenso del carro de compras. Además, para el uso de personas con sillas de ruedas, se propone un mecanismo de enganche metálico que permita el giro relativo entre la persona y el carro para que esta pueda dar giros en los pasillos adecuadamente. Adicionalmente, la cesta de compras se encuentra dividida verticalmente en 3 secciones, de las cuales 2 pueden plegarse para disminuir la altura de la cesta. Esto fue realizado para facilitar el acceso a productos a personas con sillas de ruedas, pues si la cesta fuera de mucha altura, tendrían dificultad para posicionar los productos dentro de esta como se puede observar en la Figura D.8.

En el dominio de sensores se utilizan cámaras para poder reconocer los productos empaquetados ingresados al carro, pues estas envían las imágenes desde distintos ángulos del carro para que una red

neuronal realizada en TensorFlow pueda reconocer qué producto es el ingresado. Si se trata de productos pesados como frutas o verduras, se cuenta con un escáner de código de barras para leer la etiqueta colocada al pesar el producto. Además, se usan sensores de ultrasonido para examinar el entorno en busca de obstáculos y medir la elevación de la cesta de compras. La identificación de objetos cercanos cobra un papel importante cuando el usuario es una persona con discapacidad visual, pues se debe emitir una alerta cuando se encuentra cerca de un objeto para que se detenga. Otro sensor empleado es el de localización, el cual emplea tecnología *Ultra Wide-band* para triangular su posición con respecto a dispositivos fijos ubicados en los extremos del local como se observa en la Figura D.9.

En el dominio de interfaz, se utiliza una pantalla capacitiva táctil la cual tiene una sensibilidad bastante alta con respecto a una resistiva y reconoce el contacto únicamente con los dedos. Además, se usa un micrófono dinámico para el reconocimiento de voz del usuario, el cual captura la voz del usuario y minimiza el ruido ambiental. Esto hace que estos micrófonos sean adecuados para supermercados pues las voces de otras personas cercanas al carro podrían interferir en el reconocimiento de voz del usuario. La respuesta de la interfaz será brindada a través de la pantalla y de altavoces incorporados en el carro para brindar completa libertad de movimiento al usuario con respecto al carro de compras.

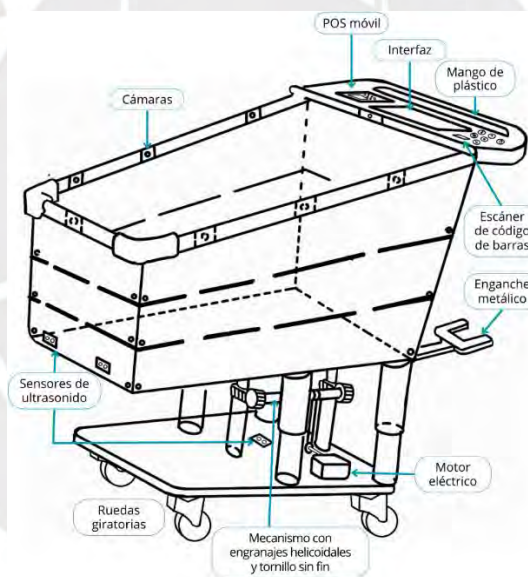


Figura C.7 Concepto de solución 3 (Elaboración propia)

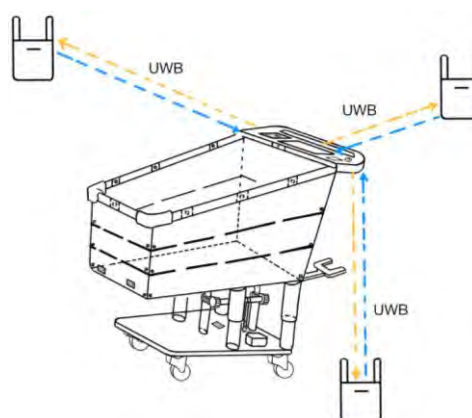


Figura C.8 Localización por UWB del concepto de solución 3 (Elaboración propia)



Figura C.9 Concepto 3 adaptado a personas con sillas de ruedas (Elaboración propia)

ANEXO E: Evaluación técnica-económica

En esta sección se realiza un análisis de carácter técnico y económico que permitan seleccionar la solución óptima para el diseño del carro de compras inteligente, para ello se definen criterios que permitan realizar una evaluación objetiva de cada concepto de solución. Luego de ello, se asigna un peso del 1 al 4 a cada criterio en base a su impacto dentro del proyecto y se puntúa cada concepto de solución del 0 al 4, donde 4 se reserva para el concepto ideal.

Criterios técnicos

- **Facilidad de uso:** Es necesario que el carro de compras inteligente pueda ser empleado por cualquier usuario sin previa capacitación o instrucción. Se le asigna un peso de 4 a este criterio pues es fundamental que el diseño sea intuitivo y de fácil configuración y uso.
 - **Concepto de solución 1:** El carro cuenta con una interfaz intuitiva y asistencia visual y por voz para facilitar su uso. El sistema de ascenso o descenso del carro de compras al ser manual brinda precisión; sin embargo, puede complicar este proceso a los usuarios y requerir de instrucción externa. Además, este carro cuenta con 2 ruedas giratorias y 2 ruedas motrices, por lo que los giros son de diámetro mayor a la longitud del carro lo cual complica el manejo de este cuando se desean giros cerrados.
 - **Concepto de solución 2:** El carro cuenta con una interfaz intuitiva y didáctica con asistencia durante toda la compra de manera visual y oral. Sin embargo; la regulación de la altura de la cesta de compras no es tan precisa pues es un sistema neumático, lo que puede dificultar la regulación de altura a los usuarios. Además, el pago se realiza por POS app, lo cual puede dificultar el pago a usuarios que no cuenten con esa aplicación.
 - **Concepto de solución 3:** El carro brinda de manera visual y oral asistencia personalizada a los usuarios durante la compra e interactúa con ellos a través de una

interfaz intuitiva y didáctica. El sistema de regulación en este caso es preciso pues el motor eléctrico brinda mayor precisión.

- Optimización de la experiencia de compra: Este criterio va alineado con el objetivo del proyecto, pues se desea mejorar la experiencia de compra del usuario al brindarle asistencia personalizada durante toda su compra en el local y reducir los tiempos de espera en colas al brindar el cobro dentro del carro de compras. Se le asigna un peso de 4 a este criterio.
 - Concepto de solución 1: El carro de compras reconoce de manera automática los productos ingresados en la cesta y permite el pago en el mismo carro a través de un POS incorporado. Además, la interfaz permite resolver las consultas y ofrecer promociones a los usuarios para mejorar su experiencia.
 - Concepto de solución 2: El carro de compras no tiene reconocimiento automático del producto, sino que el usuario debe de escanearlo con el escáner de códigos de barras incorporado, lo cual puede perjudicar la experiencia de compra pues el usuario puede olvidarse de escanear un producto antes de ingresarlo y en consecuencia tener problemas durante el pago de los productos.
 - Concepto de solución 3: Se brinda asistencia personalizada y se interactúa con el usuario por medio de la interfaz gráfica y por voz. Además, los productos ingresados a la cesta de compras se reconocen de manera automática, lo cual optimiza el tiempo de compra del usuario en el local y elimina las colas de espera para el pago de productos.
- Accesibilidad para personas con necesidades especiales: Se evalúa la adaptabilidad del carro a las necesidades de personas con discapacidad visual parcial o total, discapacidad motriz, enanismo y discapacidad auditiva. Asimismo, se evalúa si el diseño brinda las herramientas necesarias para que puedan desenvolverse de manera cómoda e independiente dentro del local. Esto es fundamental para el diseño, por ello se le asigna un peso de 4.
 - Concepto de solución 1: La guía por voz y visual permite el acceso a personas con discapacidad visual o auditiva a la asistencia personalizada durante la compra. Sin embargo; la adaptación del carro para usuarios con sillas de ruedas no es óptimo pues solo la parte posterior es plegable por lo que los contornos de la cesta impiden de manera parcial la vista del usuario. El carro cuenta con sensores infrarrojos para evaluar obstáculos cerca al carro de compras para personas con discapacidad visual; sin embargo, estos sensores pueden verse afectados por la iluminación dentro del local.
 - Concepto de solución 2: El carro cuenta con asistencia personalizada que puede ser accedida por personas con discapacidad auditiva y visual pues se brinda tanto por voz e imágenes. Sin embargo; este concepto propone el uso de cámaras para censar el entorno lo cual no es adecuado para estimar profundidades y en consecuencia se podría generar que una persona con discapacidad visual total choque con una persona o pared. Además, solo la parte posterior del carro es regulable para personas con sillas de ruedas,

por lo que se impide parcialmente la visión de las personas con los otros lados de la cesta.

- Concepto de solución 3: El carro cuenta con asistencia personalizada accesible para todos los usuarios, incluyendo aquellos con discapacidad visual o auditiva. Para censar el entorno utiliza sensores de ultrasonido los cuales tienen un buen alcance y son precisos en entornos luminosos; sin embargo, la presencia de ruido elevado podría afectar su desempeño. Además, todos los contornos de la cesta son plegables para que esta pueda ser adaptada rápidamente a personas con sillas de ruedas.
- Consumo de energía: Se requiere que el carro de compras opere como mínimo 10 horas de manera constante, por ello se evalúa el consumo energético de los componentes eléctricos con el objetivo de alargar el tiempo de operación y se le brinda un peso de 3.
 - Concepto de solución 1: Este concepto utiliza una pantalla táctil, altavoces, sensores como cámara, sensor infrarrojo y de distancia láser, y para el procesamiento y control utiliza tanto un computador como un microcontrolador los cuales requieren de energía eléctrica. Por otro lado, propone el uso de una regulación manual de altura, por lo que no se requiere de energía eléctrica para este propósito.
 - Concepto de solución 2: La solución propone el uso de componentes eléctricos como sensores, elementos de interacción con el usuario como pantalla táctil y audífonos, y un computador para el procesamiento y control. No utiliza un componente eléctrico para la regulación de altura pues se utiliza un pistón neumático.
 - Concepto de solución 3: Como elementos de consumo eléctrico se tienen los sensores, componentes de la interfaz y un motor eléctrico utilizado para la elevación y descenso de la cesta de compras.
- Ergonomía: El criterio evalúa la comodidad de los usuarios durante la compra, pues el carro debe de ser ligero para que no requiera una gran fuerza de empuje por parte del usuario para que este se desplace. Asimismo, debe de garantizar una adecuada interacción visual y por voz entre el usuario y el carro para que la asistencia personalizada se brinde correctamente. Se le asigna un peso de 3 a este criterio.
 - Concepto de solución 1: El carro adapta su altura de acuerdo con las necesidades del usuario y brinda total libertad a la persona para desplazarse en el local; sin embargo, el contar con 2 ruedas motrices y 2 giratorias genera que los giros no sean tan fáciles de realizar, lo cual no contribuye con la comodidad del usuario. Además, el carro es ligero pues su cesta está hecha de plástico.
 - Concepto de solución 2: El carro brinda la posibilidad de adaptar su altura de acuerdo con las necesidades del usuario. Sin embargo; la asistencia se brinda a través de audífonos, lo cual restringe el movimiento del usuario con respecto al carro de compras.

- Concepto de solución 3: El carro brinda total libertad de desplazamiento al usuario y es ligero pues la cesta, el mango y la carcasa de los componentes están hechos de plástico. Además, las 4 ruedas giratorias permiten que la persona tenga un mejor manejo del carro y realice giros sin inconvenientes dentro del local.
- Velocidad de procesamiento: Se evalúa la velocidad de procesamiento del sistema, pues se requiere que reconozca rápidamente los productos ingresados en el carro e interactúe y brinde respuestas en tiempo real al usuario. Por este motivo se le asigna un peso de 3.
 - Concepto de solución 1 y 3: Utilizan tanto un microcontrolador como un computador, lo cual permite que el microcontrolador apoye con el procesamiento de información de algunos sensores y el computador recopile esta información ya procesada para aligerar su carga computacional.
 - Concepto de solución 2: Utiliza únicamente un computador para el procesamiento, lo cual puede generar excesiva carga computacional en este y ruido en el sistema por lo que no funcionarían adecuadamente los componentes.
- Precisión de localización dentro del local: Se evalúa la precisión del método de localización dentro de la tienda, pues este debe de ser preciso para brindar adecuadamente indicaciones de productos dentro del local. Por ello se le asigna un peso de 3 a este criterio.
 - Concepto de solución 1 y 2: Estos conceptos utilizan localización por Wi-Fi para la ubicación de la cesta de compras dentro del local lo cual puede llegar a tener alta precisión si se cuenta con varios puntos de acceso Wi-Fi; sin embargo, esta localización se ve afectada por dispositivos electrónicos y en un supermercado existen abundantes equipos electrónicos como computadoras y celulares de los usuarios.
 - Concepto de solución 3: Este concepto propone el uso de tecnología Ultra Wide Band (UWB) para la localización, lo cual tiene alta precisión y son menos susceptibles a interferencias ambientales.
- Resistencia: El criterio evalúa la resistencia del mecanismo ante golpes, pues existe la posibilidad de que los usuarios al manejarlo puedan chocar con algún objeto o pared dentro del local. Se le asigna un peso de 2 pues este escenario no está presente durante la operación cotidiana del carro y no influye en su funcionamiento.
 - Concepto de solución 1 y 3: La cesta de compras es de plástico, por lo que tiene una mayor resistencia al impacto que una cesta metálica, lo cual es importante por si el usuario choca con algún objeto dentro del local
 - Concepto de solución 2: La cesta de compras es metálica, por lo que cuenta con gran resistencia estructural. Esto permite que soporte gran peso de compras sin deformarse.
- Durabilidad: Se requiere que el carro pueda de tener un tiempo de vida mayor a 2 años, por ello se le asigna un peso de 2 a este criterio, pues evalúa la durabilidad del material de fabricación

ante distintas condiciones ambientales. Asimismo, evalúa el tiempo de vida de las baterías para que no tengan que ser reemplazadas de manera constante.

- Concepto de solución 1: La cesta de compras es de plástico, por lo que no se daña debido a la humedad o salinidad; sin embargo, se vería afectada a temperaturas altamente elevadas lo cual no es tan común en un supermercado. Este carro utiliza baterías LiPo las cuales tienen un ciclo de vida aproximado de 200 a 400 ciclos de carga y descarga completos.
- Concepto de solución 2: La cesta de compras es metálica, por lo que no es resistente a ambientes húmedos o salinos pues tiende a oxidarse. Sin embargo; si soporta altas temperaturas ambientales sin deformarse. Este carro emplea baterías de plomo ácido, las cuales tienen una gran durabilidad de aproximadamente 3 a 5 años.
- Concepto de solución 3: La cesta de compras es de plástico, por lo que no se oxida ante condiciones salinas o humedad; sin embargo, no resiste adecuadamente altas temperaturas. Por otro lado, se emplea un pack de baterías de Li-ion las cuales tienen un ciclo de vida aproximado de 300 a 500 ciclos completos de carga y descarga.

Criterios económicos

- Costo de los componentes: Este requerimiento se relaciona con el costo de la tecnología a utilizar dentro del proyecto pues se requiere optimizar los costos. Este costo representa una parte importante del presupuesto total por ello se le asigna un peso de 4.
 - Concepto de solución 1: Los componentes de mayor costo en este concepto de solución son el computador y microcontrolador. Dado a que la regulación de altura se realiza de manera manual, no se requieren de gastos para el accionamiento.
 - Concepto de solución 2: Los componentes más costosos son el sistema neumático para la elevación del carro de compras y las cámaras a utilizar para el reconocimiento de los productos.
 - Concepto de solución 3: Los componentes de mayor costo son el motor eléctrico, el computador, microcontrolador y las cámaras de reconocimiento de productos.
- Costo de fabricación: Este criterio evalúa el costo de fabricación de la carcasa del carro de compras, lo cual incluye la cesta de compras, uniones entre ruedas, mango de empuje y carcasa protectora de los componentes electrónicos. Se le asigna un peso de 3.
 - Concepto de solución 1: La cesta de compras es de metal y el mango de empuje del carro es de plástico. Por lo cual el mayor costo de fabricación estaría representado por la cesta de compras tanto por el tamaño de esta como por el material de fabricación pues el costo del metal es superior al del plástico.

- Concepto de solución 2: La cesta de compras es de plástico y el mango de empuje es de metal. Debido al tamaño de la cesta de compras, el costo de fabricación de esta es mayor al del mango de metal.
- Concepto de solución 3: En este concepto tanto la cesta de compras como el mango son de plástico. Al ser estos componentes principales de plástico, el costo de fabricación es menor a la fabricación en metal.
- **Facilidad de adquisición de los materiales:** Este criterio evalúa la facilidad de adquirir los componentes, pues puede que estos no se encuentren en el mercado local o sean escasos dentro de este por lo que se tendría que recurrir a lugares específicos para la compra.
 - Concepto de solución 1: Los componentes de este concepto en su totalidad pueden de ser encontrados de manera local.
 - Concepto de solución 2: Los componentes de este concepto en su totalidad pueden de ser encontrados de manera local.
 - Concepto de solución 3: Los componentes de este concepto en su totalidad pueden de ser encontrados de manera local.
- **Costo de mantenimiento:** Se evalúa el costo que implica realizar el mantenimiento del carro de compras, el cual también depende de la frecuencia con la cual se requeriría realizarlo.
 - Concepto de solución 1: Los componentes que requieren de cambios y revisiones de manera periódica son las ruedas, el mecanismo de elevación y las baterías.
 - Concepto de solución 2: Los componentes que requieren mantenimiento son el sistema neumático de regulación de altura, las ruedas y las baterías.
 - Concepto de solución 3: En este concepto requieren de mantenimiento las baterías, las ruedas y el motor eléctrico.

A continuación, se muestran las Tablas E.1 y E.2 correspondientes a la evaluación técnico-económica de los conceptos de solución.

Tabla E.1 Evaluación técnica de los conceptos de solución (Elaboración propia)

Criterio técnico	Evaluación técnica								
	Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
Facilidad de uso	4	2	8	3	12	4	16	4	16
Optimización de la experiencia de compra	4	3	12	1	4	4	16	4	16
Accesibilidad para personas con necesidades especiales	4	2	8	2	8	3	12	4	16
Consumo de energía	3	3	9	3	9	3	9	4	12
Ergonomía	3	2	6	1	3	4	12	4	12
Velocidad de procesamiento	3	3	9	2	6	3	9	4	12
Precisión de localización dentro del local	3	2	6	2	6	3	9	4	12
Resistencia	2	3	6	3	6	3	6	4	8
Durabilidad	2	1	2	3	6	3	6	4	8
Sumatoria			66		60		95		112
Valor técnico			0.59		0.54		0.85		1

Tabla E.2 Evaluación económica de los conceptos de solución (Elaboración propia)

Evaluación económica									
Criterio económico	Solución 1			Solución 2		Solución 3		Solución ideal	
	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
Costo de los componentes	4	3	12	1	4	3	12	4	16
Costo de fabricación	3	2	6	3	9	3	9	4	12
Facilidad de adquisición de materiales	2	3	6	3	6	3	6	4	8
Costo de mantenimiento	2	2	4	2	4	2	4	4	8
Sumatoria			28		23		31		44
Valor económico			0,61		0,57		0,70		1

Con el objetivo de analizar la valoración de cada concepto tanto en el ámbito técnico como en el económico, se realizó un gráfico de dispersión como se muestra en la Figura E.1.

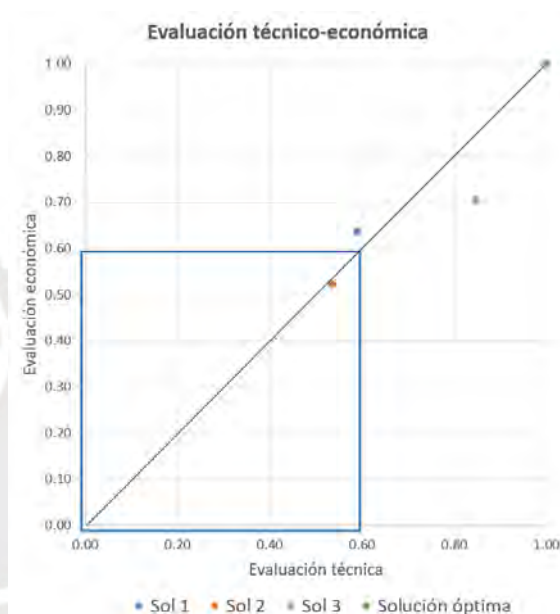


Figura E.1. Concepto 3 adaptado a personas con sillas de ruedas (Elaboración propia)

En el gráfico de evaluación técnico-económica se descartan las soluciones que se encuentren por debajo de 0.6 en ambos aspectos pues no cumplen con los criterios establecidos. En este caso, la solución 2 es descartada por encontrarse dentro de este cuadrante. Como siguiente paso, se evalúa la solución que se encuentra más cercana a la solución ideal. Se observa en la gráfica que el concepto de solución 3 es el más cercano pues obtuvo mayor puntaje tanto en la evaluación técnica como económica. Por este motivo, el concepto de solución 3 es seleccionado como el óptimo para desarrollar el carro de compras inteligente para supermercados en el Perú.

ANEXO F: Base de datos de pruebas

Se creó una base de datos autónoma en Oracle con el nombre Supermarket_database, como se observa en la Figura F.1. Dentro de esta base de datos, se creó la tabla PRODUCTOS la cual contiene la información del dataset propio con 150 productos como se observa en la Figura F.2. Estos productos tienen como atributos 'ID_PRODUCTO', el cual representa el código de identificación que también se encuentra en el código de barras; 'ID_PROVEEDOR', el cual es el código del proveedor del producto; 'IMAGEN', la cual es el link a la imagen del producto; 'PRECIO'; 'PRECIO_DEPENDIENTE', esta categoría indica si el precio del producto depende del peso o de la cantidad de un producto; 'CATEGORÍA', es la categorización del producto; 'MARCA'; 'DESCRIPCIÓN', son las características del producto; 'CANTIDAD_DISPONIBLE', representa la cantidad de artículos del producto que están disponibles; 'DESCUENTO', indica si existe alguna promoción o descuento en el producto; y 'LOCALIZACION', la cual indica la posición del producto dentro del local.

The screenshot shows the Oracle Cloud console for the 'Supermarket_database' Autonomous Database. The database is in an 'AVAILABLE' state. Key details include:

- Database name:** PRODUCTS1
- Workload type:** Data Warehouse
- Compartment:** aggabriela31 (root)
- OCID:** zad54a
- Created:** Tue, Jan 9, 2024, 20:41:11 UTC
- License type:** License included
- Database version:** 19c
- Lifecycle state:** Available
- Instance type:** Free
- Character set:** AL32UTF8
- National character set:** AL16UTF16
- Mode:** Read/write
- Resources:** Compute: Included
- Disaster recovery:** Role: -, Local: -, Cross-region: Not enabled
- Backup:** Automatic backup retention period: 60 days, Total backup storage: 28 GB, Last automatic backup: Fri, Feb 23, 2024, 08:00:52 UTC
- Network:** Access type: Allow secure access from everywhere, Access control list: Disabled, Mutual TLS authentication: Required

Figura F.1 Base de datos para pruebas de software (Elaboración propia)

ID_PRODUCTO	ID_PROVEEDOR	PRODUCTO	IMAGEN	PRECIO	PRECIO_DEPENDIENTE	CATEGORIA	MARCA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD_DISPONIBLE	DESCUENTO	LOCALIZACION
1	FDT8PTR218	Detergente en Polvo	https://wongfood.vite	56.9	NO	Limpieza	ARIEL	Contiene 4 kilos Dete	33	-	10
2	EQSU06G80N	Papel Higiénico Elite	https://wongfood.vite	27.2	NO	Limpieza	ELITE	Papel higiénico con d	24	20% de descuento	1P
3	P3NQ0XMVCD	Chuleta de Lomo de I	https://wongfood.vite	23.9	SI	Carnes, aves y pescad	GENERIC0	Venta por kilo	18	-	P5
4	V1AT779M4M	Carne Molido de Biste	https://wongfood.vite	35.8	SI	Carnes, aves y pescad	GENERIC0	Venta por kilo Corte: -	12	-	P5
5	UP2R5V274C	Pollo Entero con Men	https://wongfood.vite	9.5	SI	Carnes, aves y pescad	WONG	Venta por kilo Pollo n	22	-	P4
6	OY348RO89W	Huevo de Corral La C	https://wongfood.vite	15	NO	Carnes, aves y pescad	LA CALERA	Cantidad: 12 unidades	35	-	9G
7	0DJCVUVU0X	Huevos Párdos Wong	https://wongfood.vite	11.1	NO	Carnes, aves y pescad	WONG	Cantidad: 15 unidades	21	-	9H
8	RWBQQ1UWQ7	Filete de Tilapia Extra	https://wongfood.vite	64.5	SI	Carnes, aves y pescad	GENERIC0	Tilapia	15	-	P3
9	SDBZRSYS29	Pollo Entero sin Men	https://wongfood.vite	12.8	SI	Carnes, aves y pescad	GENERIC0	Pollo entero sin la me	25	-	P4
10	XX0G7DLS4	Hamburguesas Parrill	https://wongfood.vite	33.9	NO	Carnes, aves y pescad	OREGON FOODS	Cantidad: 4 unidades	28	-	P6
11	LX6XWR42I6	Nuggets de Pechuga	https://wongfood.vite	15.8	NO	Carnes, aves y pescad	SAN FERNANDO	Cantidad: 24 unidades	60	20% de descuento	P6
12	E1FNZ0FGM3	Churrasco Largo Naci	https://wongfood.vite	36.9	SI	Carnes, aves y pescad	GENERIC0	Churrasco nacional	35	-	P5
13	M3E9YLN1LO	Queso Fresco Sin Laci	https://wongfood.vite	40	SI	Lacteos	LAIVE	Venta al peso Peso a:	58	30% de descuento	9O
14	Y5JTKAT98R	Yogurt Griego Vakim	https://www.wong.pe	16.8	NO	Lacteos	VAKIMU	Venta por kilo en taja	38	-	9N
15	EQHK1KRNDY	Yogurt Griego Descre	https://wongfood.vite	19.3	NO	Lacteos	DANLAC	Contiene 900 gramos	47	-	9N
16	E4A2ALWB2	Yogurt Bebible Gloria	https://wongfood.vite	10.9	NO	Lacteos	GLDRIA	Contiene 1.7 kilos 'Yo	51	-	9M
17	8PL67T78HA	Yogurt Bebible Laive	https://wongfood.vite	6.7	NO	Lacteos	LAIVE	Contiene 946 gramos	35	-	9M
18	V2214KFLUFO	Ricocan Alimento par	https://wongfood.vite	149.7	NO	Mascotas	RICOCAN	Alimento con bienest	25	15% de descuento	1L
19	OZ13XFPK9X	Ricocan Paté para Per	https://wongfood.vite	7.99	NO	Mascotas	RICOCAN	Paté de pollo	16	-	1L
20	YCWZ9TV4MM	Galletas Ricocrack Ori	https://wongfood.vite	9.9	NO	Mascotas	RICOCAN	Contiene 200 gramos	47	-	1M

Figura F.2 Muestras de la base de datos de pruebas (Elaboración propia)

Se valida el uso de sentencias SQL para obtener la información necesaria para el sistema, tal como obtener el precio del producto en base al código como se observa en la Figura F.3, los productos en base a la categoría como se observa en la Figura F.4 y la localización del producto en base al nombre del producto como se observa en la Figura F.5.

10 `SELECT PRECIO FROM ADMIN.PRODUCTOS WHERE ID_PRODUCTO='7702835432339';`

Resultado de la Consulta Salida de Script Salida de DBMS Explicación del plan Rastreo automático Historial SQL

Descargar Tiempo de ejecución: 0.009 segundos

PRECIO
18.9

Figura F.3 Validación de sentencias SQL 1 (Elaboración propia)

11 `SELECT * FROM ADMIN.PRODUCTOS WHERE CATEGORIA='Lacteos';`

Resultado de la Consulta Salida de Script Salida de DBMS Explicación del plan Rastreo automático Historial SQL

Descargar Tiempo de ejecución: 0.003 segundos

ID_PRODUCTO	ID_PROVEEDOR	PRODUCTO	IMAGEN	PRECIO	PRECIO_DEPENDIEN	CATEGORIA	MARCA
1	M3E9YLN1LO	7846 Queso Fresco Sin Lact	https://wongfood.vte	40	SI	Lacteos	LAIVE
2	YSJTKAT98R	7839 Yogurt Griego Vakim	https://www.wong.pe	16.8	NO	Lacteos	VAKIMU
3	EQHK1KRN0Y	7834 Yogurt Griego Descre	https://wongfood.vte	19.3	NO	Lacteos	DANLAC
4	ETA42ALWB2	7847 Yogurt Bebible Gloria	https://wongfood.vte	10.9	NO	Lacteos	GLORIA
5	8PL67T7BHA	7846 Yogurt Bebible Laive !	https://wongfood.vte	6.7	NO	Lacteos	LAIVE
6	658YVJ2S3	7847 Sixpack Leche Ultrafil	https://wongfood.vte	25.8	NO	Lacteos	GLORIA
7	572J3ODA2H	7847 Sixpack Leche Recons	https://wongfood.vte	24.6	NO	Lacteos	GLORIA
8	A3DK88ZQ9O	7847 Pack x6 Leche Evapor	https://wongfood.vte	23.2	NO	Lacteos	GLORIA
9	X7U6WZH973	7847 Tripack Leche Parcial	https://wongfood.vte	17.1	NO	Lacteos	GLORIA
10	FDT8PTRZ1B	7845 Sixpack Mezcla Lácte	https://wongfood.vte	25.5	NO	Lacteos	NESTLÉ

Figura F.4 Validación de sentencias SQL 2 (Elaboración propia)

15 `SELECT PRODUCTO, LOCALIZACION FROM ADMIN.PRODUCTOS WHERE LOWER(Producto) LIKE '%yogurt%';`

Resultado de la Consulta Salida de Script Salida de DBMS Explicación del plan Rastreo automático

Descargar Tiempo de ejecución: 0.007 segundos

	PRODUCTO	LOCALIZACION
1	Yogurt Griego Vakimu Frutos del Bosque 1 Kg	9N
2	Yogurt Griego Descremado Danlac Sabor Natural Frasco 900g	9N
3	Yogurt Bebible Gloria Fresa Galonera 1.7kg	9M
4	Yogurt Bebible Laive Sbelt Sabor Mora 946g	9M

Figura F.5 Validación de sentencias SQL 3 (Elaboración propia)

ANEXO G: Reconocimiento de códigos de barra con librerías comerciales

Se hicieron pruebas con la librería Barcode Detector de OpenCV y con PyZbar como se muestra a continuación en las tablas G.1 y G.2

Tabla G.1 Tabla de análisis de decodificación con OpenCV Barcode Detector (Elaboración propia)

Tipo de código de barras	Reconocimiento
Horizontal, sin inclinación y con luz	
Girado alrededor del eje X	
Girado alrededor del eje Y	

<p>Girado alrededor del eje Z</p>	
<p>Girado en los 3 ejes</p>	
<p>Con baja calidad de imagen</p>	
<p>Con baja iluminación o subexpuesto</p>	

<p>Con cambios de iluminación</p>	
<p>Distorsionado o arrugado</p>	
<p>Con elementos por encima como dedos</p>	
<p>Formas costumizadas</p>	

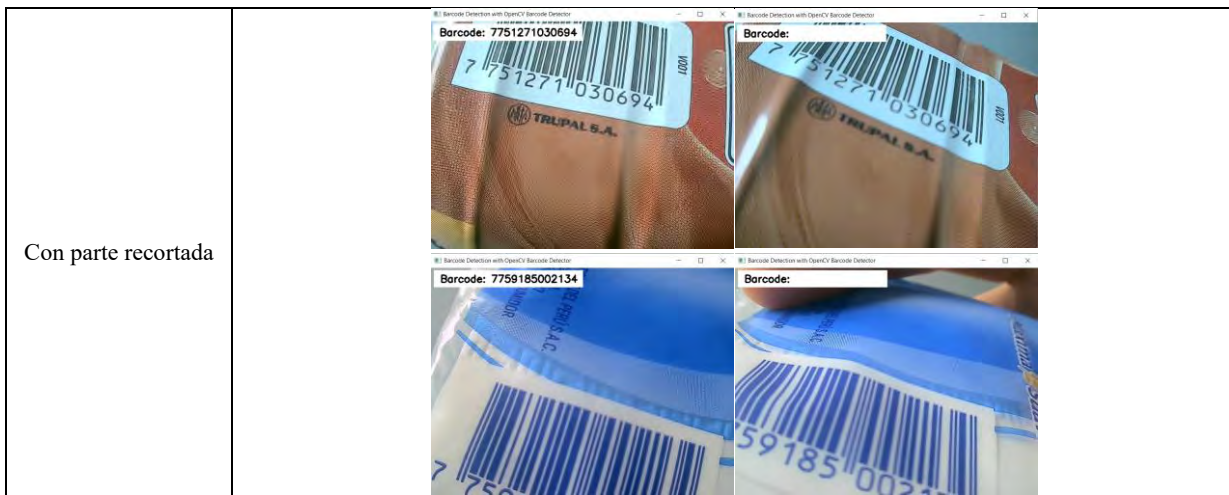


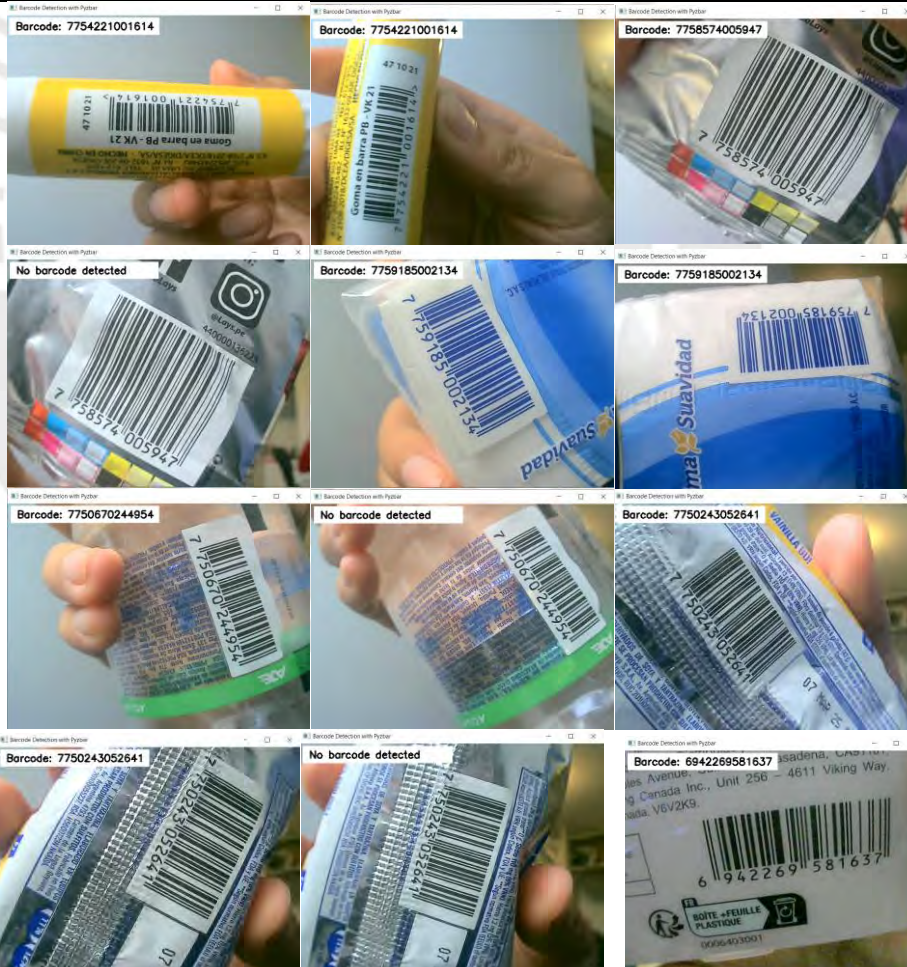
Tabla G.2 Tabla de análisis de decodificación con PyZbar (Elaboración propia)

<p>Tipo de código de barras</p>	<p>Reconocimiento</p>
<p>Horizontal, sin inclinación y adecuada iluminación</p>	<p>The image shows six screenshots of a barcode detection application. The top row contains three screenshots: 1) A barcode on a brown label with the number '7 751271 030694'. 2) A QR code and a barcode on a white label with the number '7 750670 009041'. 3) A barcode on a white label with the number '7 759185 002134'. The bottom row contains two screenshots: 4) A barcode on a blue label with the number '7 702011 136602'. 5) A barcode on a white label with the number '7 758574 005947'.</p>
<p>Girado alrededor del eje X</p>	<p>The image shows six screenshots of a barcode detection application. The top row contains three screenshots: 1) A barcode on a brown label with the number '7 751271 030694'. 2) A barcode on a brown label with the number '7 751271 030694'. 3) A barcode on a white label with the number '7 750670 009041'. The middle row contains three screenshots: 4) A QR code and a barcode on a white label with the number '7 750670 009041'. 5) A barcode on a blue label with the number '7 759185002134'. 6) A screenshot showing 'No barcode detected'. The bottom row contains two screenshots: 7) A barcode on a white label with the number '7 758574 005947'. 8) A barcode on a white label with the number '7 758574 005947'.</p>









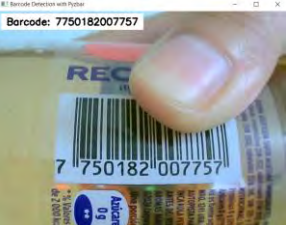

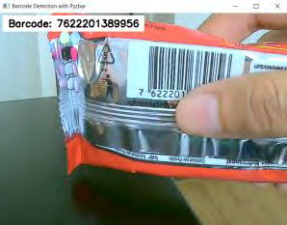







Girado alrededor del eje Y



Girado alrededor del eje Z



<p>Girado en los 3 ejes</p>	
<p>Con ruido</p>	
<p>Con baja calidad de imagen</p>	
<p>Con baja iluminación o subexpuesto</p>	
<p>Con cambios de iluminación</p>	









		
<p>Distorsionado o arrugado</p>	 	 
<p>Con elementos por encima como dedos</p>	  	 
<p>Formas personalizadas</p>		
<p>Con parte recortada</p>	 	  

ANEXO H: Pruebas de lectura de códigos de barra

Se realizaron pruebas de lectura de códigos de barras de la red neuronal propia y las librerías comerciales.

Tabla H.1 Tabla comparativa de redes (Elaboración propia)

Condición	Red neuronal propia	Pyzbar	OpenCV Barcode Detector
Condiciones ideales			
Rotado			
Con desenfoque			

<p>Superficies no planas</p>			
			
<p>Con cambios de iluminación</p>			
			
			



4D	40	26
4E	46	26
4F	51	26
4G	55	26
4H	39	27
4I	44	27
4J	49	27
4K	54	27

4D	40	25
4E	46	25
4F	51	25
4G	55	25
4H	39	28
4I	44	28
4J	49	28
4K	54	28

10F	15	65
10G	27	65

10F	15	66
10G	27	66

	X	Y
11A	67	40
11B	67	52

	X	Y
11A	67	39
11B	67	53

	X	Y
5A	15	32
5B	21	32
5C	28	32
5D	40	32
5E	46	32
5F	53	32
5G	14	33
5H	22	33
5I	30	33
5J	39	33
5K	43	33
5L	47	33
5M	51	33
5N	55	33

	X	Y
5A	15	31
5B	21	31
5C	28	31
5D	40	31
5E	46	31
5F	53	31
5G	14	34
5H	22	34
5I	30	34
5J	39	34
5K	43	34
5L	47	34
5M	51	34
5N	55	34

	X	Y
12A	15	70
12B	19	71
12C	27	70
12D	31	71
12E	46	72
12F	15	73
12G	27	73

	X	Y
12A	15	69
12B	20	71
12C	27	69
12D	32	71
12E	46	73
12F	15	74
12G	27	74

	X	Y
13A	15	78
13B	22	78
13C	30	78
13D	39	78
13E	48	78
13F	57	78

	X	Y
13A	15	77
13B	22	77
13C	30	77
13D	39	77
13E	48	77
13F	57	77

	X	Y
6A	15	38
6B	21	38
6C	28	38
6D	40	38
6E	47	38
6F	54	38
6G	15	39
6H	21	39
6I	28	39
6J	40	39
6K	47	39
6L	54	39

	X	Y
6A	15	37
6B	21	37
6C	28	37
6D	40	37
6E	47	37
6F	54	37
6G	15	40
6H	21	40
6I	28	40
6J	40	40
6K	47	40
6L	54	40

	X	Y
P1	61	5
P2	61	15
P3	61	26
P4	61	38
P5	61	51
P6	61	70

	X	Y
10A	60	5
10B	60	15
10C	60	26
10D	60	38
10E	60	51
10F	60	70

	X	Y
Entrada	0	5
Salida	0	15
Cajas registradoras	9	26
Servicios higiénicos	61	38

ANEXO J: Datasheets

J.1. Nucleo STM32F446RE



NUCLEO-XXXXRX

STM32 Nucleo boards

Data brief

Features

- STM32 microcontroller with LQFP64 package
- Two types of extension resources
 - Arduino Uno Revision 3 connectivity
 - STMicroelectronics Morpho extension pin headers for full access to all STM32 I/Os
- mbed-enabled (mbed.org)
- On-board ST-LINK/V2-1 debugger/programmer with SWD connector
 - selection-mode switch to use the kit as a standalone ST-LINK/V2-1
- Flexible board power supply
 - USB VBUS or external source (3.3 V, 5 V, 7 - 12 V)
 - Power management access point
- Three LEDs
 - USB communication (LD1), user LED (LD2), power LED (LD3)
- Two push buttons: USER and RESET
- USB re-enumeration capability: three different interfaces supported on USB
 - Virtual Com port
 - Mass storage
 - Debug port
- Supported by wide choice of Integrated Development Environments (IDEs) including IAR™, Keil®, GCC-based IDEs



Description

The STM32 Nucleo board provides an affordable and flexible way for users to try out new ideas and build prototypes with any STM32 microcontroller line, choosing from the various combinations of performance, power consumption and features. The Arduino™ connectivity support and ST Morpho headers make it easy to expand the functionality of the STM32 Nucleo open development platform with a wide choice of specialized shields.

The STM32 Nucleo board does not require any separate probe as it integrates the ST-LINK/V2-1 debugger/programmer.

The STM32 Nucleo board comes with the STM32 comprehensive software HAL library together with various packaged software examples, as well as direct access to mbed online resources.

Table 1. Device summary

Reference	Part number
NUCLEO-XXXXRX	NUCLEO-F030R8, NUCLEO-F070RB, NUCLEO-F072RB, NUCLEO-F091RC, NUCLEO-F103RB, NUCLEO-F302R8, NUCLEO-F303RE, NUCLEO-F334R8, NUCLEO-F401RE, NUCLEO-F411RE, NUCLEO-L053R8, NUCLEO-L073RZ, NUCLEO-L152RE, NUCLEO-L476RG

J.2. Jetson Xavier NX



Jetson Xavier NX Series System-on-Module
Volta GPU + Carmel CPU + LPDDR4x + eMMC 5.1

AI Performance

Up to 21 TOPS (INT8)

Volta GPU

384 NVIDIA® CUDA® cores | 48 Tensor cores | End-to-end lossless compression | Tile Caching | OpenGL® 4.6 | OpenGL ES 3.2 | Vulkan™ 1.1[◊] | CUDA 10 | Maximum Operating Frequency: 1100 MHz

Carmel CPU

ARMv8.2 (64-bit) heterogeneous multi-processing (HMP) CPU architecture | 3x dual-core CPU clusters (six NVIDIA Carmel processor cores) connected by a high-performance system coherency interconnect fabric | L3 Cache: 4 MB (shared across all clusters)

NVIDIA Carmel (Dual-Core) Processor: L1 Cache: 128 KB L1 instruction cache (I-cache) per core; 64 KB L1 data cache (D-cache) per core | L2 Unified Cache: 2 MB per cluster | Maximum Operating Frequency: 1900 MHz

Audio

Dedicated programmable audio processor | ARM Cortex A9 with NEON | PDM in/out | Industry-standard High-Definition Audio (HDA) controller provides a multi-channel audio path to the HDMI® interface

Memory

128-bit LPDDR4x DRAM | Secure External Memory Access Using TrustZone® Technology | System MMU | Maximum Operating Frequency: 1866 MHz | Memory Size: 8GB (Xavier NX); 16GB (Xavier NX 16GB)

Storage

16 GB eMMC 5.1 Flash Storage | Bus Width: 8-bit | Maximum Bus Frequency: 200 MHz (HS400)

Networking

10/100/1000 Gigabit Ethernet | Media Access Controller (MAC)

Imaging

14 lanes (3 x4 + 1 x2 or 6 x2 or 5 x2 + 1 x4) MIPI CSI-2 | D-PHY 1.2 (2.5 Gb/s per pair, total up to 30 Gbps)

Display Controller

Two multi-mode (eDP/DP/HDMI) Serial Output Resources (SOR)
eDP 1.4a | DP 1.4 | HDMI 2.0a/b

Maximum Resolution (eDP/DP/HDMI): (up to) 3840x2160 at 60 Hz (up to 36 bpp)

Multi-Stream HD Video and JPEG

Video Decode:

- Standards supported: H.265, H.264, VP9, VP8, MPEG-4, MPEG-2, VC-1
 - 2x 1300 MP/sec (H.265)
 - 2x 8K30 (H.265)
 - 6x 4K60 (H.265)
 - 12x 4K30 (H.265)
 - 22x 1080p @ 60 (H.265)
 - 44x 1080p @ 30 (H.265)
 - 22x 1080p @ 30 (H.264)

Video Encode:

- Standards supported: H.265, H.264, VP9
 - 2x 700 MP/sec (H.265)
 - 2x 4K60 (H.265)
 - 4x 4K30 (H.265)
 - 10x 1080p @ 60 (H.265)
 - 22x 1080p @ 30 (H.265)

Peripheral Interfaces

xHCI host controller with integrated PHY (up to) 1x USB 3.1, 3x USB 2.0 | PCIe 1x1 (GEN3) + 1x4 (GEN4) | SD/MMC controller (supporting eMMC 5.1, SD 4.0, SDHOST 4.0 and SDIO 3.0) | 3x UART | 2x SPI | 4x I²C | 1x CAN | 2x I²S | GPIOs

Mechanical

Module Size: 69.6 mm x 45 mm | 260 pin SO-DIMM Connector

Operating Requirements

Temperature Range (T_J): -25°C – 90°C | Supported Power Modes: 10W | 15W | 20W | Power Input: 5V

Note: Refer to the Software Features section of the latest L4T Development Guide for a list of supported features; all features may not be available.

[◊] Product is based on a published Khronos Specification and is expected to pass the Khronos Conformance Process. Current conformance status can be found at www.khronos.org/conformance.

* See the *Jetson Xavier NX Thermal Design Guide* for details

J.3. Micrófono MX395

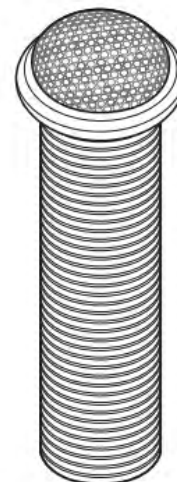
MX395 Low Profile Boundary Microphones

Overview

The Microflex Low Profile Boundary microphone is an ideal table microphone when minimal presence is of high priority. Perfect for meeting rooms, these microphones deliver exceptional sound pickup while barely being noticed. Choose from a selection of colors and pickup patterns for customized table and ceiling installations.

Specifications (subject to change)

Type	Condenser (electret bias)
Frequency Response	50–17000 Hz
Polar Pattern (at 1 kHz)	MX395/O: Omnidirectional MX395/C: Cardioid MX395/BI: Bidirectional
Output Impedance	EIA Rated at 150 Ω (170 Ω actual)
Output Configuration	Active Balanced
Sensitivity (at 1 kHz, open circuit voltage) 1 Pascal=94 dB SPL	Cardioid: -35 dBV/Pa (18 mV) Omnidirectional: -28 dBV/Pa (42 mV) Bidirectional: -37 dBV/Pa (14 mV)
Maximum SPL (1 kHz at 1% THD, 1 k Ω load)	Cardioid: 121 dB Omnidirectional: 114 dB Bidirectional: 123 dB
Equivalent Output Noise (A-weighted)	Cardioid: 28 dB SPL Omnidirectional: 21 dB SPL Bidirectional: 29 dB
Signal-to-Noise Ratio (referenced at 94 dB SPL at 1 kHz)	Cardioid: 66 dB Omnidirectional: 75 dB Bidirectional: 65 dB
Dynamic Range (1 k Ω load at 1 kHz)	Cardioid: 93 dB Omnidirectional: 93 dB Bidirectional: 94 dB
Common Mode Rejection	45 dB minimum (10 Hz to 100 kHz)
Preamplifier Output Clipping Level	-8 dBV (0.4 V) (1% THD)
Polarity	3-Pin XLR: Positive sound pressure on diaphragm produces positive voltage on pin 2 relative to pin 3 of output XLR connector. 5-Pin XLR: Positive sound pressure on diaphragm produces positive voltage on pin 4 relative to pin 2 of output XLR connector.
Weight	Net: .136 kg (.30 lb) Packaged: 0.374 kg (0.825 lbs)
Logic Connections	LED IN: Active low ($\leq 1.0V$), TTL compatible. Absolute maximum voltage: -0.7V to 50V.
Environmental Conditions	Operating Temperature: -18–57 °C (0–135 °F) Storage Temperature: -29–74 °C (-20–165 °F) Relative Humidity: 0–95%
Power Requirements	MX395: 11–52 Vdc phantom, 2.0 mA MX395-LED: 48–52 Vdc phantom, 8.0 mA



MX395
Low Profile
Boundary Mic
Diam. x H: 1 1/4" (32 mm) x 4" (102 mm)


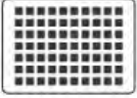
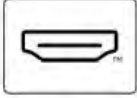

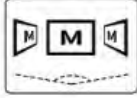




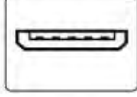

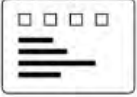

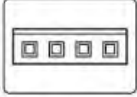

Available Models

The polar pattern of the cartridge is indicated by the model number suffix: C = Cardioid, O = Omnidirectional, BI = Bidirectional

MX395B/C, MX395B/BI, MX395B/O	Black, 3-pin XLR
MX395AL/C, MX395AL/BI, MX395AL/O	Aluminum, 3-pin XLR
MX395W/O	White, 3-pin XLR
MX395B/C-LED, MX395B/BI-LED, MX395B/O-LED	Black, 5-pin XLR, logic-controlled muting functions, Bi-color Status Indicator Ring.

SHURE[®]
LEGENDARY
PERFORMANCE™

J.4. Pantalla Punto Cuántico QLED 10,1pulg

Size  10.1"	Resolution  1280×720	Display Interface  HDMI	Display Panel  IPS	Viewing Angle  170°
Backlight  QLED Quantum Dot	Brightness  500cd/m ²	Touch Type  Capacitive	Touch Points  10-point	Touch Port  USB
Touch Panel  G+G Toughened Glass	OSD Menu  Brightness/Contrast	Audio Output1  3.5mm Jack	Audio Output2  4PIN Header	Gaming  Xbox360/PS4/Switch

Device & System Support



Raspberry Pi

Supports Raspberry Pi OS, 10-point touch, driver free
 Supports Ubuntu / Kali / WIN10 IoT, single point touch, driver free
 Supports RetroPie, driver free

Supports all versions of Raspberry Pi

Jetson Nano

Supports Ubuntu, single point touch, driver free

PC

Supports Windows 11 / 10 / 8.1 / 8 / 7, 10-point touch, driver free

Game Console

Xbox360, PS4, Switch...

J.5. Pi Camara Module 3

Overview



Raspberry Pi Camera Module 3 is a compact camera from Raspberry Pi. It offers an IMX708 12-megapixel sensor with HDR, and features phase detection autofocus. Camera Module 3 is available in standard and wide-angle variants, both of which are available with or without an infrared cut filter.

Camera Module 3 can be used to take full HD video as well as stills photographs, and features an HDR mode up to 3 megapixels. Its operation is fully supported by the libcamera library, including Camera Module 3's rapid autofocus feature: this makes it easy for beginners to use, while offering plenty for advanced users. Camera Module 3 is compatible with all Raspberry Pi computers.¹

The PCB size and mounting holes remain the same as for Camera Module 2. The Z dimension differs: due to the improved optics, Camera Module 3 is several millimetres taller than Camera Module 2.

All variants of Camera Module 3 feature:

- Back-illuminated and stacked CMOS 12-megapixel image sensor (Sony IMX708)
- High signal-to-noise ratio (SNR)
- Built-in 2D Dynamic Defect Pixel Correction (DPC)
- Phase Detection Autofocus (PDAF) for rapid autofocus
- QBC Re-mosaic function
- HDR mode (up to 3 megapixel output)
- CSI-2 serial data output
- 2-wire serial communication (supports I2C fast mode and fast-mode plus)
- 2-wire serial control of focus mechanism

¹ Excluding early Raspberry Pi Zero models, which lack the necessary FPC connector. Later Raspberry Pi Zero models require an adapter FPC, sold separately.

Specification

Sensor:	Sony IMX708
Resolution:	11.9 megapixels
Sensor size:	7.4mm sensor diagonal
Pixel size:	1.4 μ m \times 1.4 μ m
Horizontal/vertical:	4608 \times 2592 pixels
Common video modes:	1080p50, 720p100, 480p120
Output:	RAW10
IR cut filter:	Integrated in standard variants; not present in NoIR variants
Autofocus system:	Phase Detection Autofocus
Dimensions:	25 \times 24 \times 11.5mm (12.4mm height for Wide variants)
Ribbon cable length:	200mm
Cable connector:	15 \times 1mm FPC
Operating temperature:	0°C to 50°C
Compliance:	FCC 47 CFR Part 15, Subpart B, Class B Digital Device Electromagnetic Compatibility Directive (EMC) 2014/30/EU Restriction of Hazardous Substances (RoHS) Directive 2011/65/EU
Production lifetime:	Raspberry Pi Camera Module 3 will remain in production until at least January 2030

J.6. Escáner fijo FM430 Barracuda



 1D y 2D	 Megapíxeles	 OCR	 IP54	 Puntero láser	 Puntero LED
 Interfaz dual	 Resiste caídas de hasta 1,5 m	 EasySet	 2 años de garantía		



**FM430
Barracuda**
Escáneres fijos

Características

Cámara de megapíxeles.

El FM430 Barracuda es un potente escáner de códigos de barras. No importa qué tipo de código de barras se le presente, la cámara de megapíxeles permitirá a los usuarios escanear códigos de barras en 1D y 2D, incluidos los más pequeños, con una velocidad y facilidad impresionantes.

Funciona rápidamente incluso en las condiciones más difíciles.

Una combinación de sensor IR y sensor lumínico ayuda a que los trabajadores puedan realizar su labor incluso en condiciones de poca luz. Su fuerte luz blanca garantiza que los códigos de barras estén siempre bien iluminados.

Escaneo manos libres o manual.

Las empresas que se interesan por el escaneo automático para aliviar la carga de trabajo manual pueden configurar el FM430 Barracuda para el escaneo manos libres. Alternativamente, se puede usar un botón de disparo manual si se prefiere.

Programación inteligente.

Los sensores del FM430 Barracuda ajustan automáticamente el brillo de la

iluminación complementaria en función de la luz que se refleja en el código de barras. Esto también lo convierte en una solución óptima para escanear desde pantallas de teléfonos móviles. Dependiendo del uso, el escáner puede configurarse para leer de manera óptima a corta o larga distancia.

Uso fiable al aire libre.

Con una certificación IP de 54, si se coloca en una carcasa, este escáner de montaje fijo puede usarse al aire libre sin que tenga que preocuparse por el polvo o la humedad.

Puntero láser brillante (opcional).

El FM430 Barracuda está disponible con un láser de cruz roja que hace que el escaneo sea fácil e intuitivo, incluso para los usuarios más inexpertos.

Entornos de aplicación.

Quioscos de autoservicio utilizados en comercio electrónico, servicios de entrega urgente, control de acceso, fidelización, pago por móvil, canje de tiques para eventos, liquidación de juegos, servicios postales, tarjetas de embarque, máquinas de tiques de aparcamiento, líneas de producción.

Industrias sugeridas



FM430 Barracuda Especificaciones técnicas

Captura de datos

1D	Todas las principales simbologías 1D, entre ellas EAN-13, EAN-8, UPC-A, UPC-E, Code 128, Code 39, Codabar, UCC/EAN 128, RSS, ITF, ITF-14, ITF6, Standard 25, Matrix 25, COOP 25, Industrial 25, Plessey, MSI Plessey, Code 11, Code93, Code 49, Code 16K.
2D	Todas las principales simbologías 2D, entre ellas PDF417, Código QR, Data Matrix, AZTEC, CSC, Maxicode, Micro QR, Micro PDF417, GM, Code One.
Sensor de imagen	CMOS 1280 * 800
Puntero	Diodo láser de 650 nm o LED verde de 518 nm
Iluminación	LED blanco
Modos de escaneado	Modo de sensor, Modo continuo, Modo de nivel, Modo de pulso
Velocidad de lectura	60 marcos por segundo
Profundidad de campo EAN 13 (13 mil)	55-360 mm
Profundidad de campo Code 39 (5 mil)	70-180 mm
Profundidad de campo PDF417 (6,87 mil)	55-160 mm
Profundidad de campo Data Matrix (10 mil)	50-170 mm
Profundidad de campo QR (15mil)	40-210 mm
Campo de visión horizontal	51 °
Campo de visión vertical	32 °
Balaneo del ángulo de escaneado	360 °
Inclinación del ángulo de escaneado	±55 °
Sesgo del ángulo de escaneado	±55 °
Contraste de impresión mínimo	25 %

Rendimiento

Procesador	1 GHz, X1500
------------	--------------

Físico

Corriente en funcionamiento @ 5 VDC	276,8 mA (típico), 322,7 mA (máx.)
Corriente en espera @ 5 VDC	83,3 mA
Dimensiones (mm)	41,5 x 49,5 x 24,3 mm (ancho x fondo x alto)
Tensión de entrada	5 VCC ± 5 %
Interfases	RS-232, USB
Material	PC, ABS
Notificaciones	Pípedo, indicador LED
Entrada de fuente de alimentación	DC5V, 1.5A
Salida de fuente de alimentación	CA 100 ~ 240 V, 50 ~ 60 Hz
Peso	75 g

Ambiental

Temperatura de funcionamiento	-20 °C a 60 °C (-4 °F a 140 °F)
Temperatura de almacenamiento	-40 °C a 70 °C (-40 °F a 158 °F)

Newland EMEA HQ

+31 (0) 345 87 00 33

info@newland-id.com

newland-id.com

No dude en contactarnos o con un socio cerca de usted

Visita newland-id.com/socios

Las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

© Newland EMEA 2023, reservados todos los derechos.



J.7. Sensor de distancia TOF VL53L1X



VL53L1X

A new generation, long distance ranging Time-of-Flight sensor based on ST's FlightSense technology

Datasheet - production data



Features

- Fully integrated miniature module
 - Size: 4.9x2.5x1.56 mm
 - Emitter: 940 nm invisible laser (Class 1)
 - SPAD (single photon avalanche diode) receiving array with integrated lens
 - Low-power microcontroller running advanced digital firmware
- Pin-to-pin compatible with the VL53L0X FlightSense ranging sensor
- Fast and accurate long distance ranging
 - Up to 400 cm distance measurement
 - Up to 50 Hz ranging frequency
- Typical full field-of-view (FoV): 27°
- Programmable region-of-interest (ROI) size on the receiving array, allowing the sensor FoV to be reduced
- Programmable ROI position on the receiving array, providing multizone operation control from the host
- Easy integration
 - Single reflowable component
 - Can be hidden behind many cover window materials
 - Software driver and code examples for turnkey ranging
 - Single power supply (2v8)
 - I²C interface (up to 400 kHz)
 - Shutdown and interrupt pins

Applications

- User detection (autonomous low-power mode) to power on/off and lock/unlock devices like personal computers/laptops and the IoT
- Service robots and vacuum cleaners (long distance and fast obstacle detection)
- Drones (landing assistance, hovering, ceiling detection)
- Smart shelves and vending machines (goods inventory monitoring)
- Sanitary (robust user detection whatever the target reflectance)
- Smart building and smart lighting (people detection, gesture control)
- 1 D gesture recognition
- Laser assisted autofocus which enhances the camera autofocus system speed and robustness, especially in difficult scenes (low light and low contrast) and video focus tracking assistance

Description

The VL53L1X is a state-of-the-art, Time-of-Flight (ToF), laser-ranging sensor, enhancing the ST FlightSense product family. It is the fastest miniature ToF sensor on the market with accurate ranging up to 4 m and fast ranging frequency up to 50 Hz.

Housed in a miniature and reflowable package, it integrates a SPAD receiving array, a 940 nm invisible Class1 laser emitter, physical infrared filters, and optics to achieve the best ranging performance in various ambient lighting conditions with a range of cover window options.

Unlike conventional IR sensors, the VL53L1X uses ST's latest generation ToF technology which allows absolute distance measurement whatever the target color and reflectance.

It is also possible to program the size of the ROI on the receiving array, allowing the sensor FoV to be reduced.

J.8. Sensor de ultrasonido HC-SR04



Tech Support: services@elecfreaks.com

Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
- (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
- (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.

Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm

J.9. Brushless DC gear Motor with driver kits

60SG-57BLY100-10 Brushless DC motor , 24V DC, 103 watt



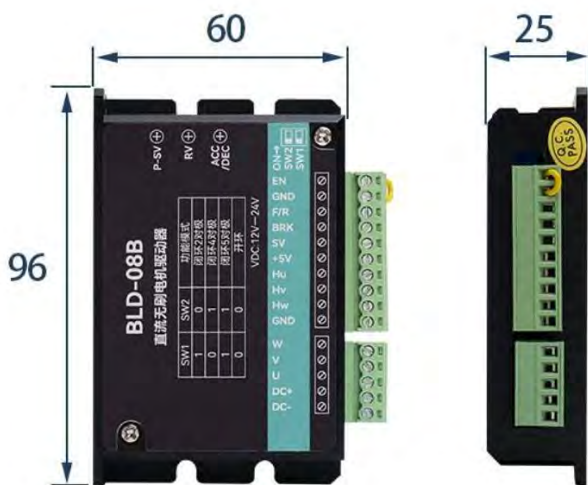
Model	60SG-57BLY100-10
Output Power	103 Watt
Voltage	24V DC
Rated Speed	300 RPM
Rated Torque	1.98 N.m
Motor length	133 mm
Hall angle	60 degree



DONGGUAN E-S MOTOR CO.,LTD

Precision Works, Professional Transmission

Tel : 86.135.3263.9595 | E-Mail : sales@e-smotor.com | www.e-smotor.com



Function :

- * BLDC motor driver;
- * with inner Speed regulating potentiometer, Rotate the knob to adjust the speed
- * Motor rotation CW/CCW adjusting;
- * over-heat, over-current and Under-voltage protection

Model	BLD-08B
Applicable motor	Power < 125 watt BLDC motor
Voltage	12 to 30V DC
Current	6.2 A
Adjusting speed	0 to 20,000 RPM



DONGGUAN E-S MOTOR CO.,LTD

Precision Works, Professional Transmission

Tel : 86.135.3263.9595 | E-Mail : sales@e-smotor.com | www.e-smotor.com

J.10. Li-ion 20000 5S4P 18v Battery Pack



MAXAMPS LITHIUM ION BATTERY

MODEL NO: MA-20000-5s4p-Li-ion-Pack

CONSUMER APPLICATIONS

- + Robotics
- + Unmanned Aerial Systems (UAS) - Drones
- + RC vehicles

COMMERCIAL & GOVERNMENT APPLICATIONS

- + Unmanned Aerial Systems (UAS) - Drones
- + Unmanned Ground Vehicles (UGV)
- + Robotics
- + Mobile Energy Storage
- + Vehicles

TECHNICAL DATA

BATTERY DIMENSIONS - 109 x 88 x 74mm

BATTERY WEIGHT - 1440g

BATTERY CAPACITY @ 0.5C RATE - 20Ah (20000mAh)

VOLTAGE - 18v (NOMINAL/STORAGE) ; 12.5v (MIN) ; 21v (MAX)

WATT HOURS - 360Wh

ENERGY DENSITY @ Nominal Voltage - 250Wh/kg

INTERNAL IMPEDANCE (1KHZ AC TYPICAL) - 15mΩ

STANDARD CHARGE RATE - 10A (0.5C MAX)

BALANCE CHARGE RATE - 20A (1C MAX)

MAXIMUM CONTINUOUS DISCHARGE - 39.2A*

MAXIMUM PEAK DISCHARGE - 200A*

CYCLE LIFE - Varies per application/usage/care

CELL TYPE - UNPROTECTED (No PCB), Flat Top Positive Terminal

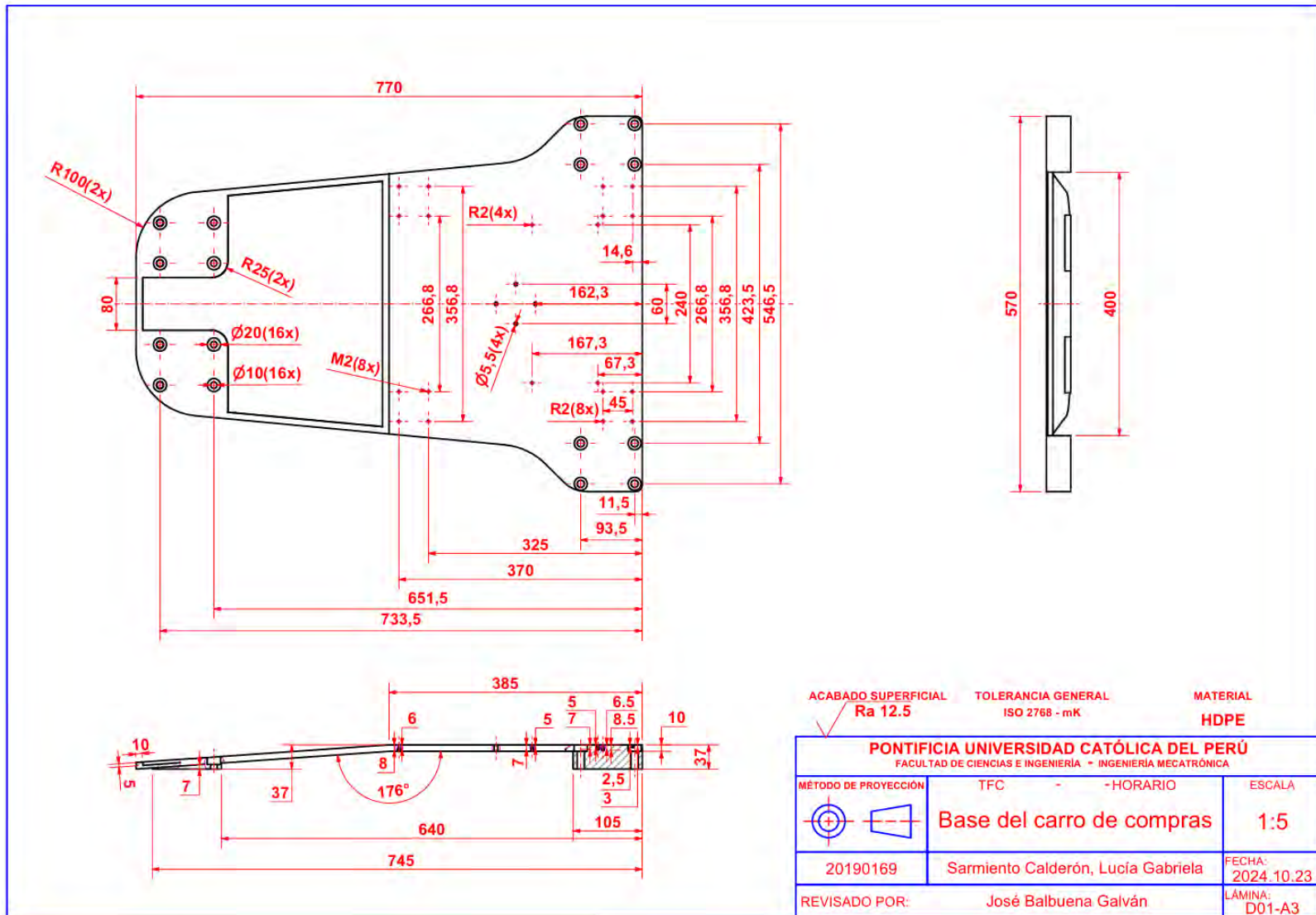
STORAGE TEMPERATURE: -20°C to 50°C, OPERATING TEMPERATURE: -20°C to 60°C

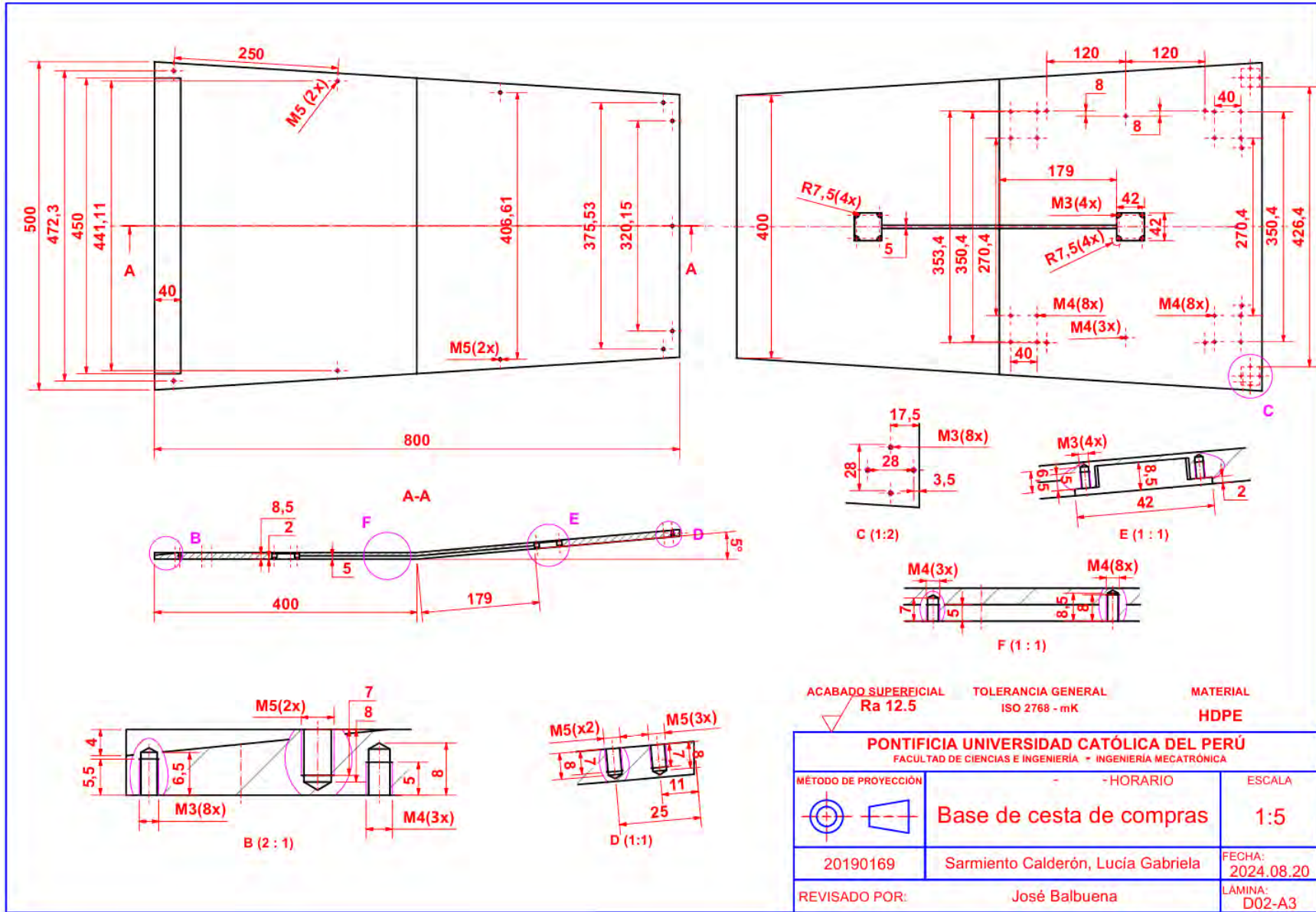
*Discharging at continuous and peak rates may lower life cycles.

MaxAmps is not liable for damages that may result from any information provided in or omitted from this publication, under any circumstances. The data in this document is for descriptive purposes only and is not intended to make or imply any guarantee or warranty. MaxAmps reserves the right to make adjustments to this publication at any time, without notice or obligation.

For more information on how MaxAmps can assist you with your battery power solution needs, visit us at www.MaxAmps.com, email info@maxamps.com, or call 509-473-9883.

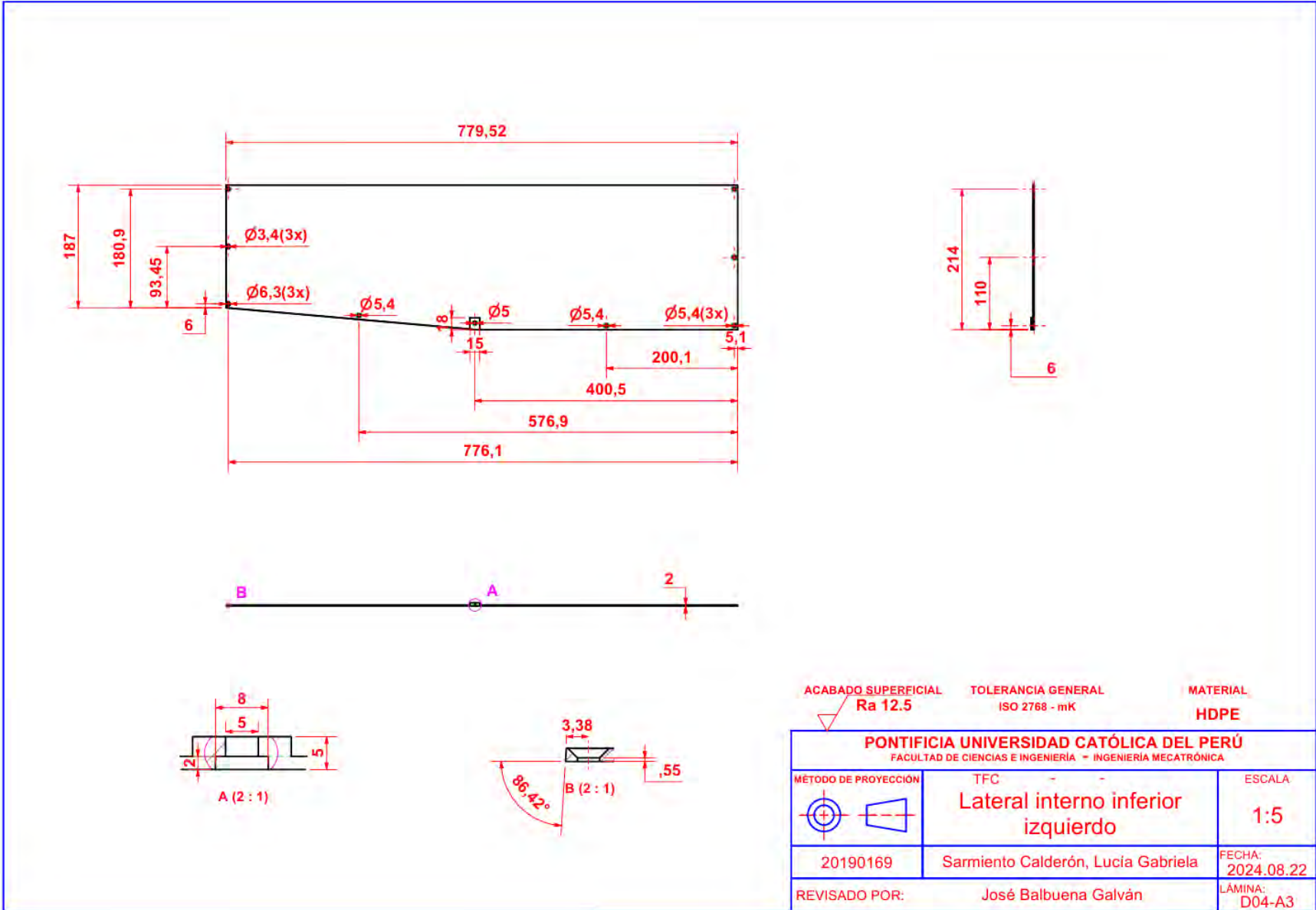
ANEXO K: Planos mecánicos





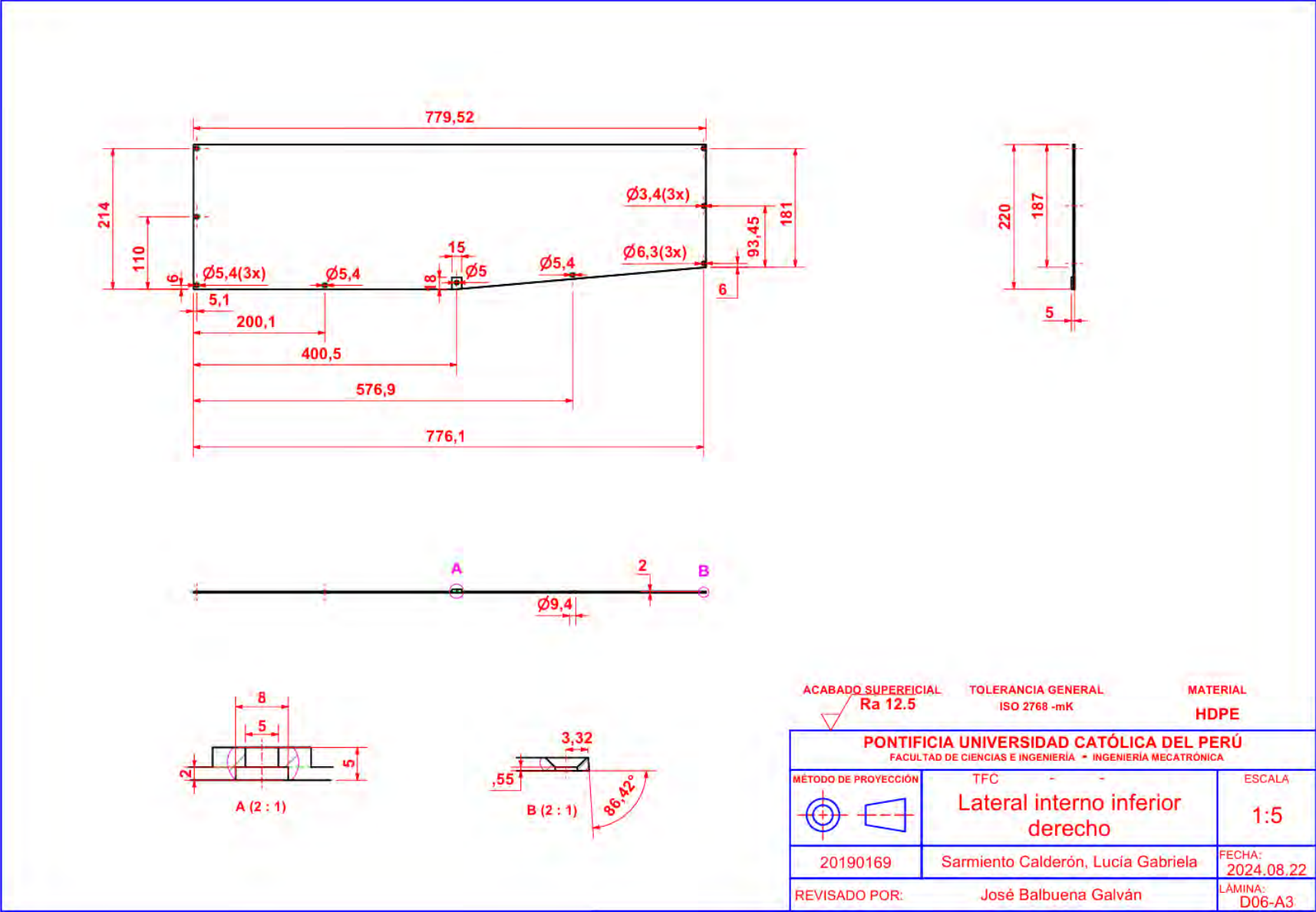
ACABADO SUPERFICIAL Ra 12.5
 TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 - mK
 MATERIAL HDPE

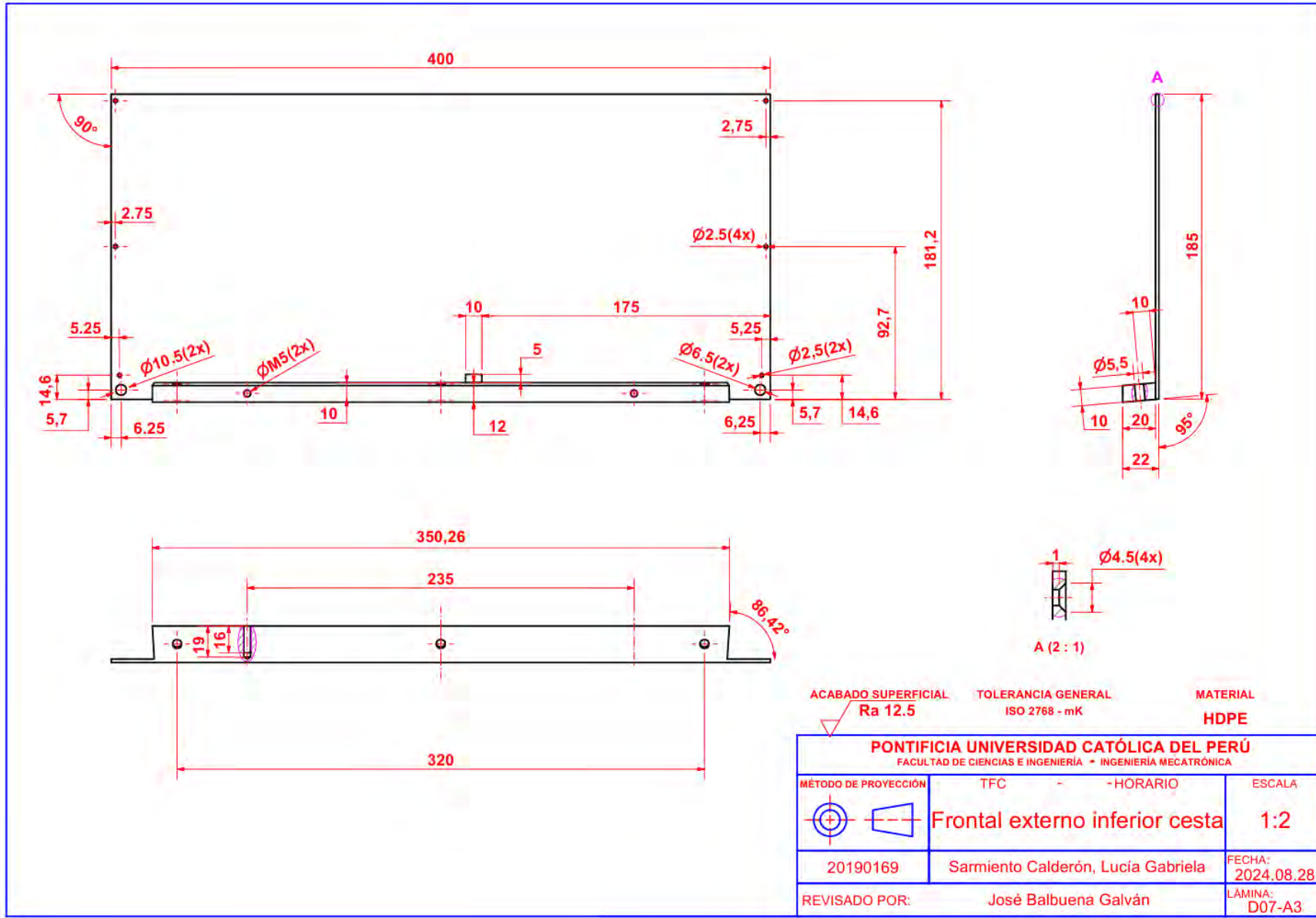
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	- HORARIO	ESCALA 1:5
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.08.20
REVISADO POR:	José Balbuena	LÁMINA: D02-A3



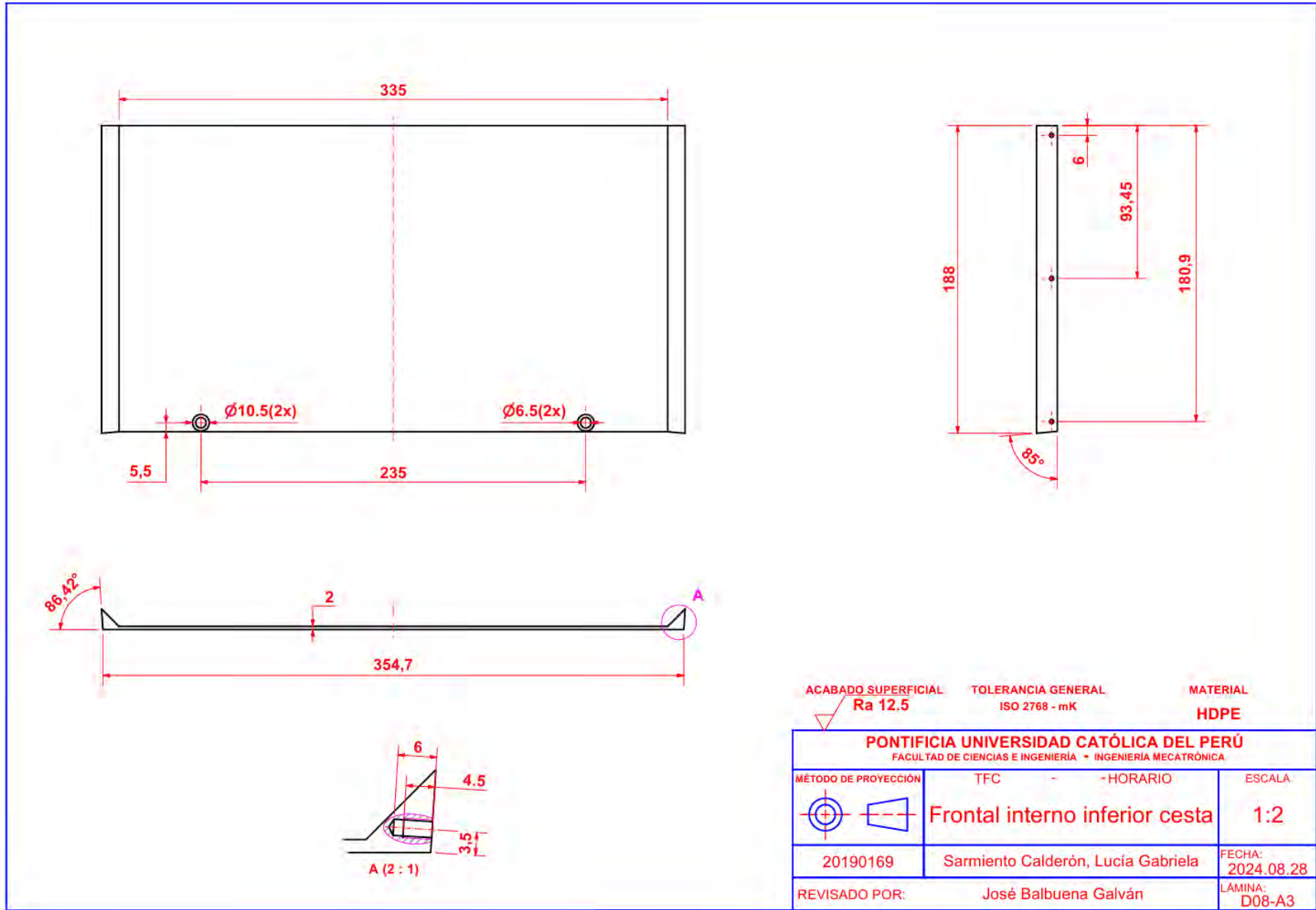
ACABADO SUPERFICIAL: Ra 12.5
 TOLERANCIA GENERAL: ISO 2768 - mK
 MATERIAL: HDPE

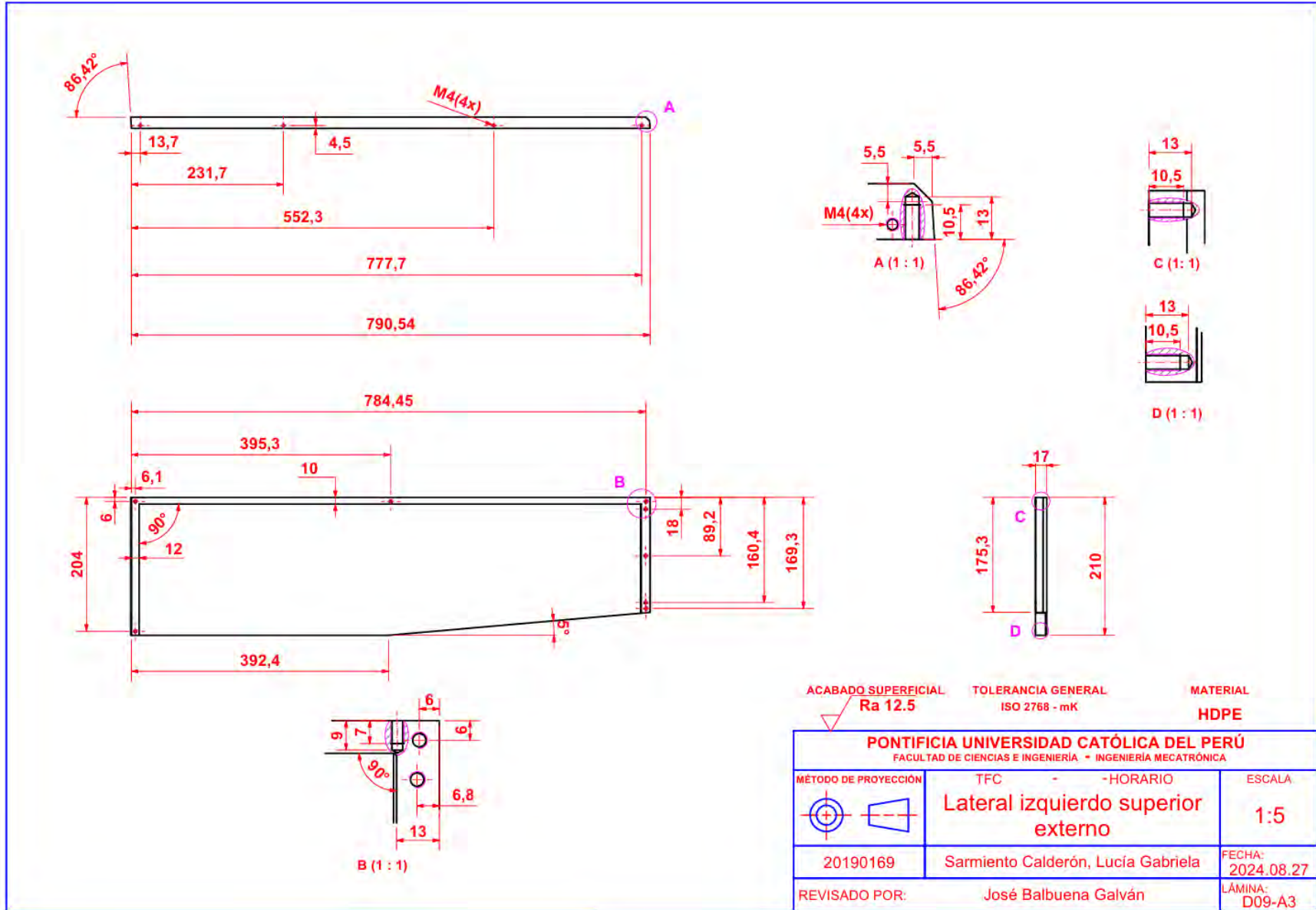
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - - Lateral interno inferior izquierdo	ESCALA 1:5
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.08.22
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D04-A3

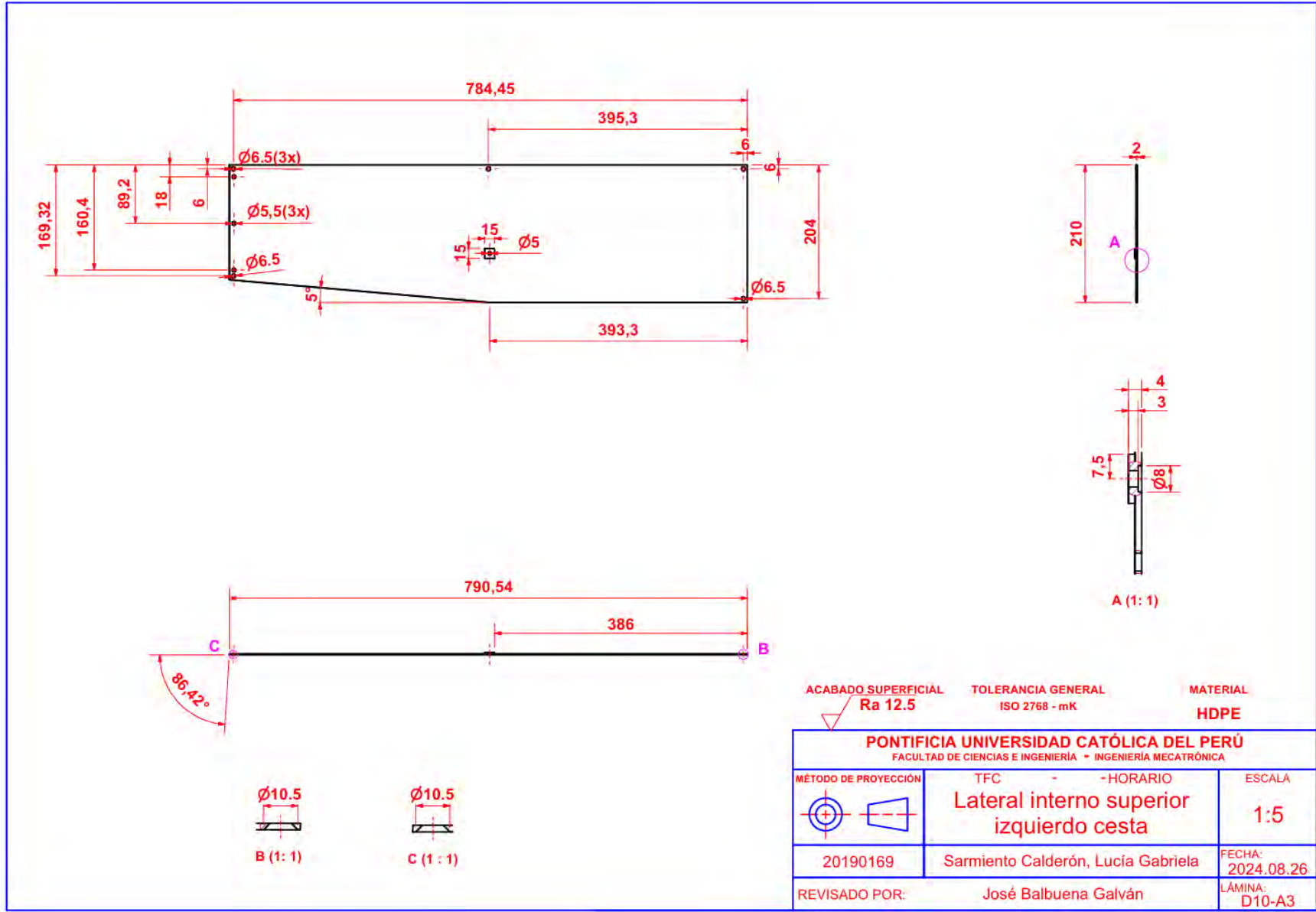


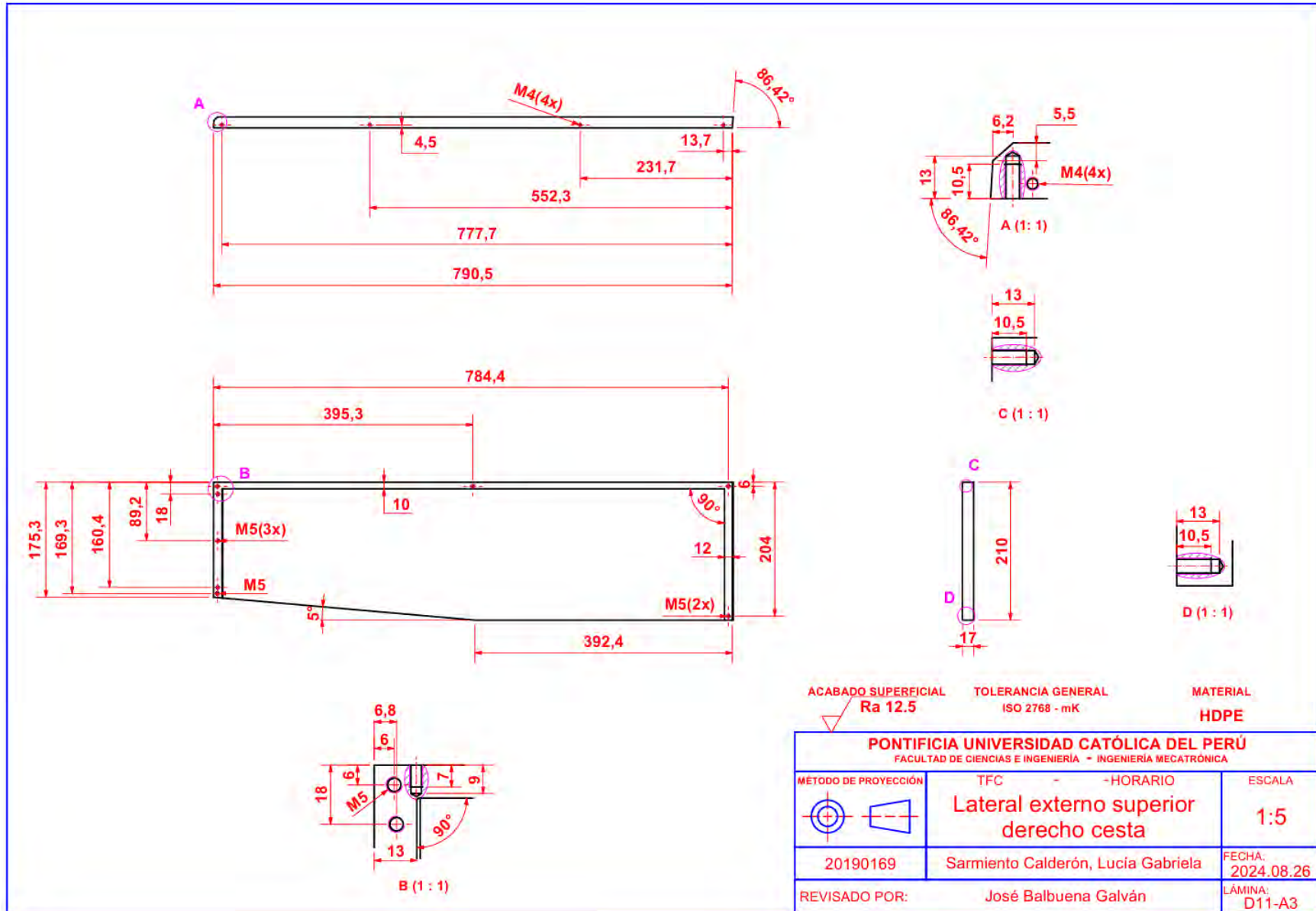


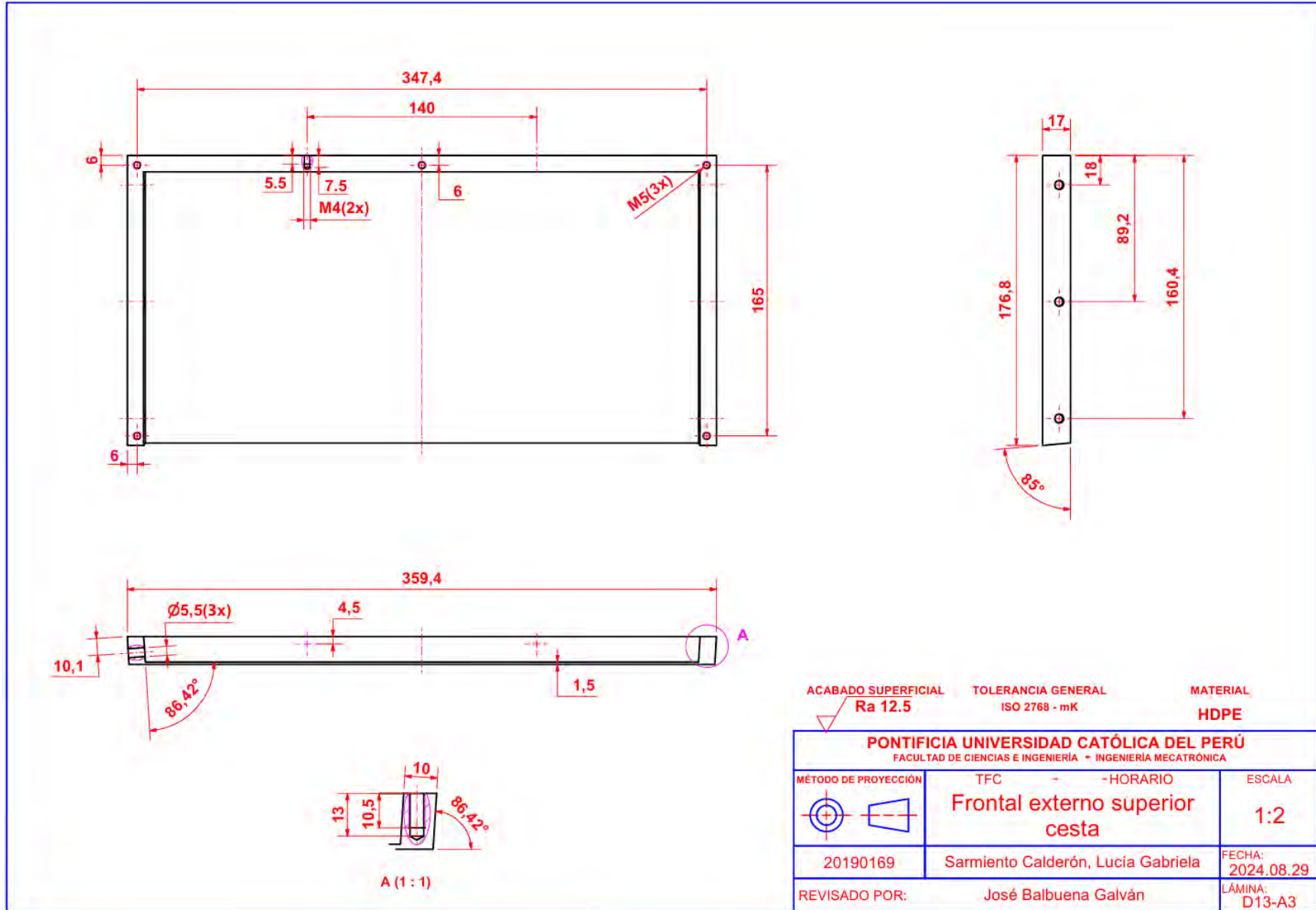
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL	MATERIAL
Ra 12.5	ISO 2768 - mK	HDPE
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA • INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - HORARIO	ESCALA
	Frontal externo inferior cesta	1:2
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.08.28
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D07-A3

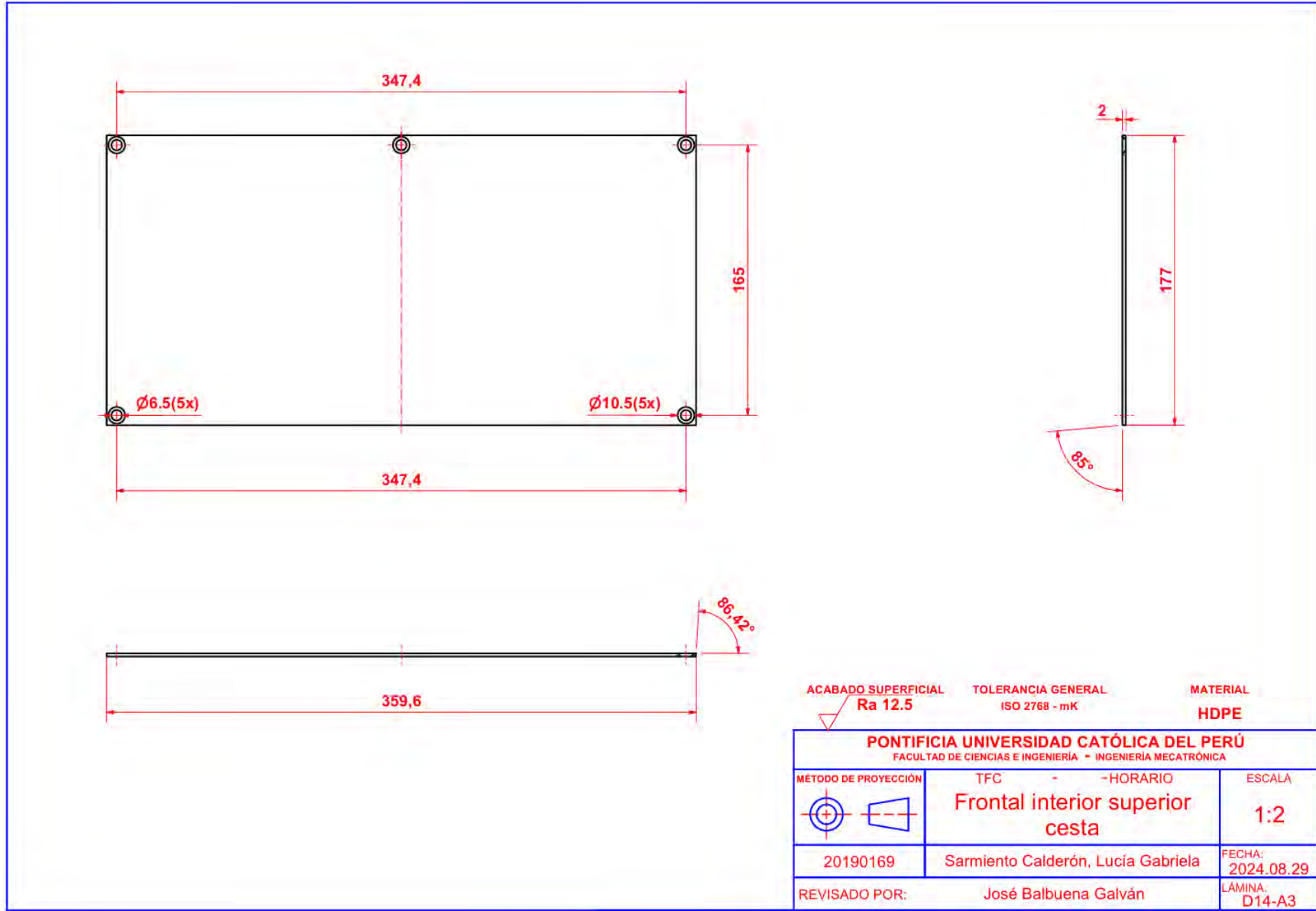






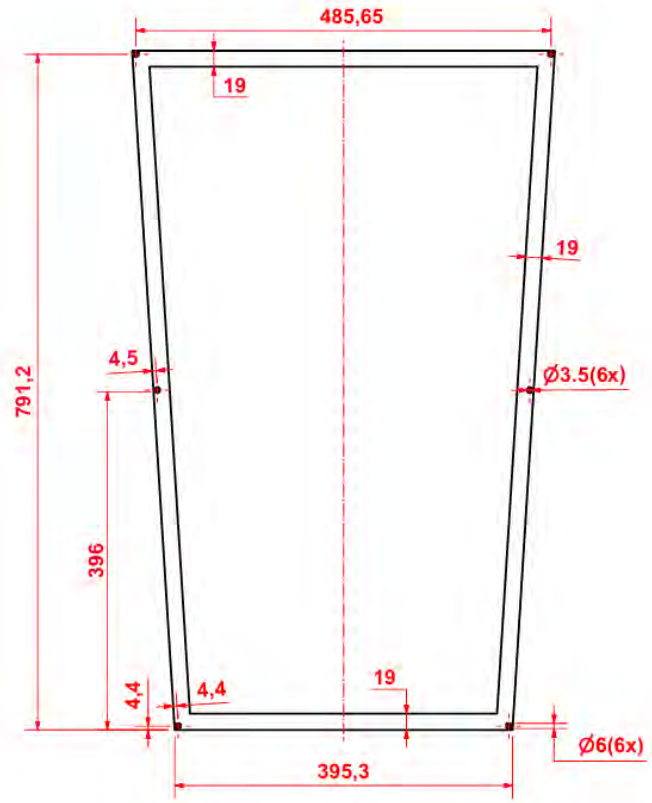






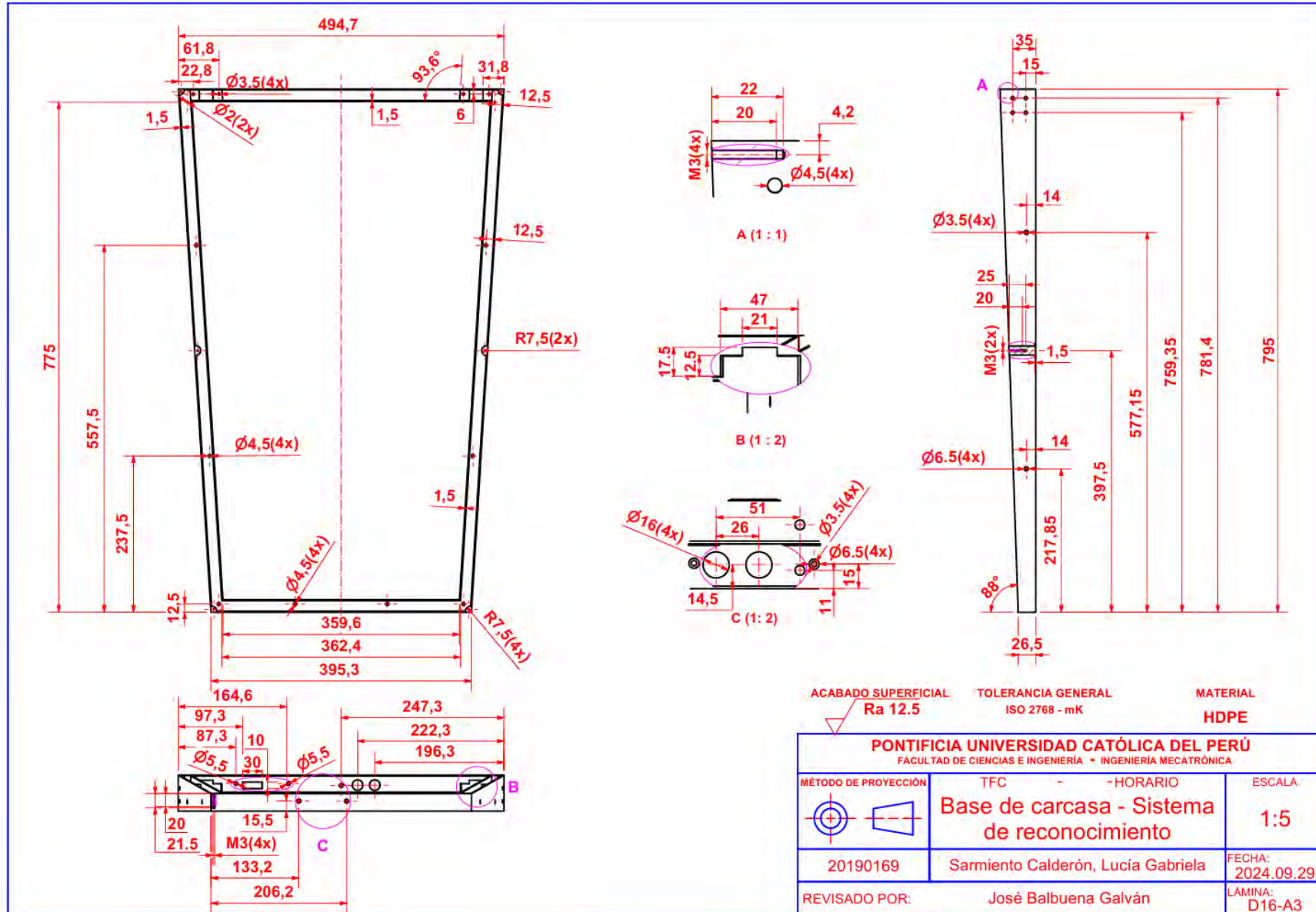
ACABADO SUPERFICIAL Ra 12.5 TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 - mK MATERIAL HDPE

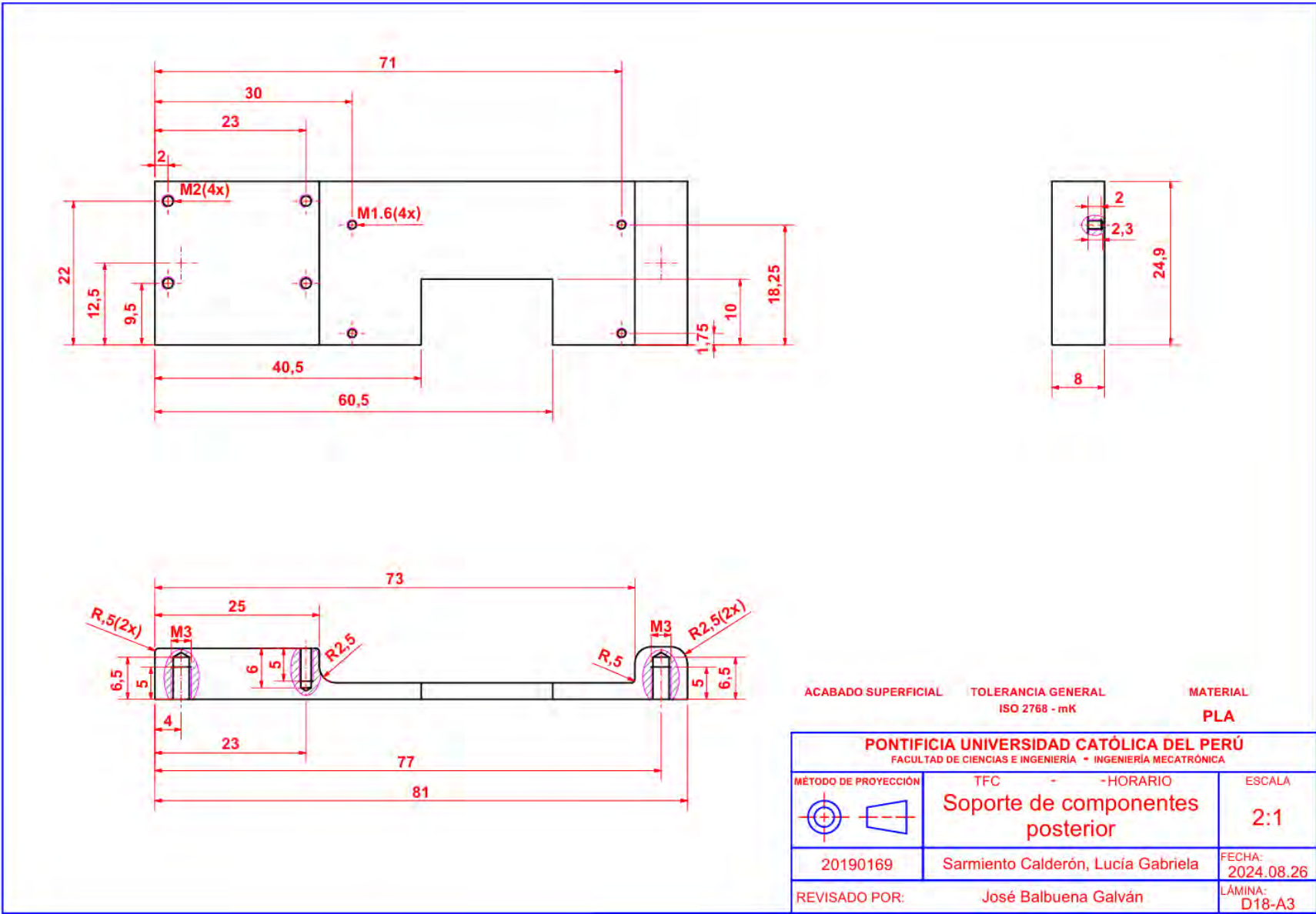
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ <small>FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA • INGENIERÍA MECATRÓNICA</small>		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TFC - -HORARIO Frontal interior superior cesta	ESCALA 1:2
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.08.29
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D14-A3

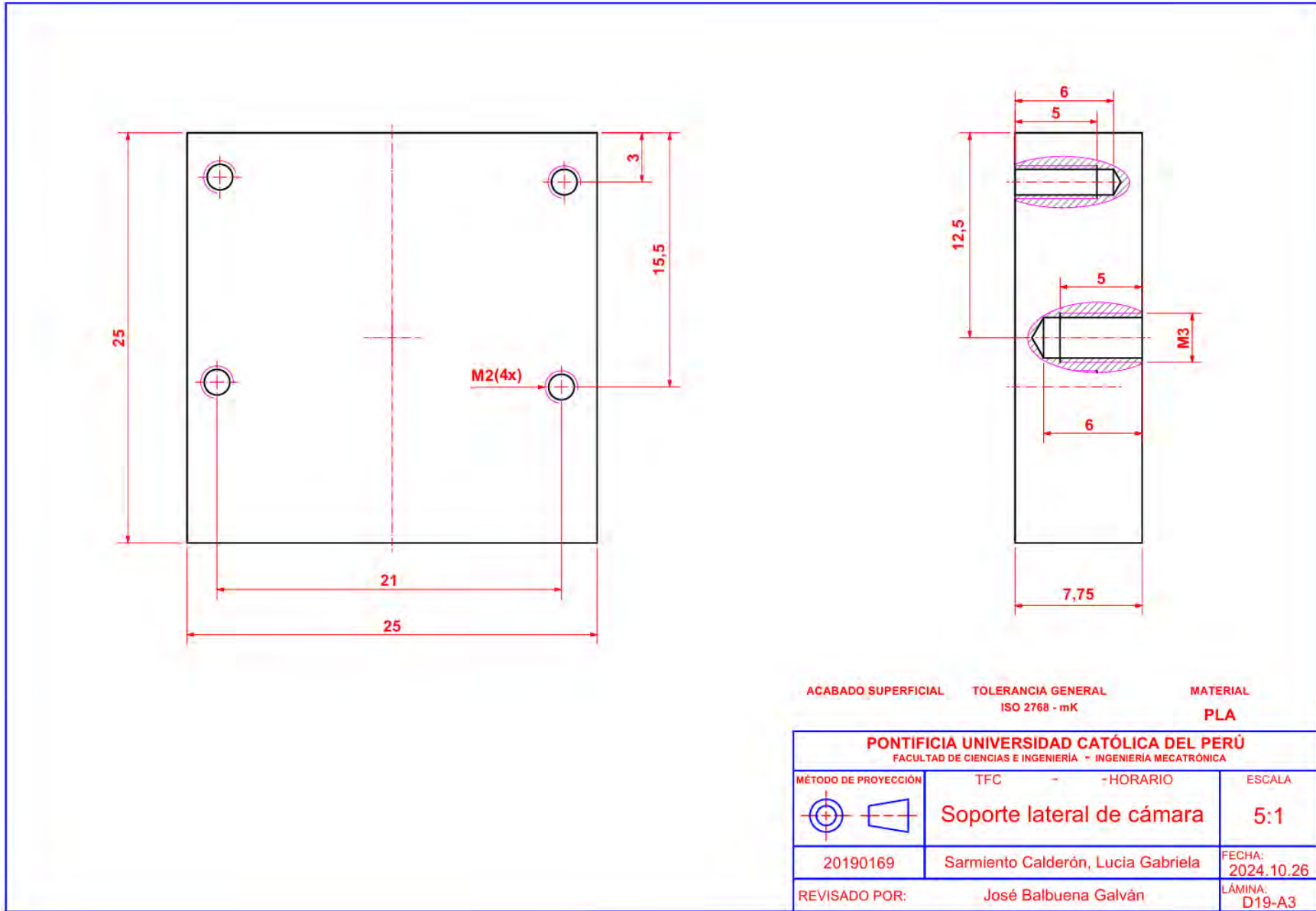


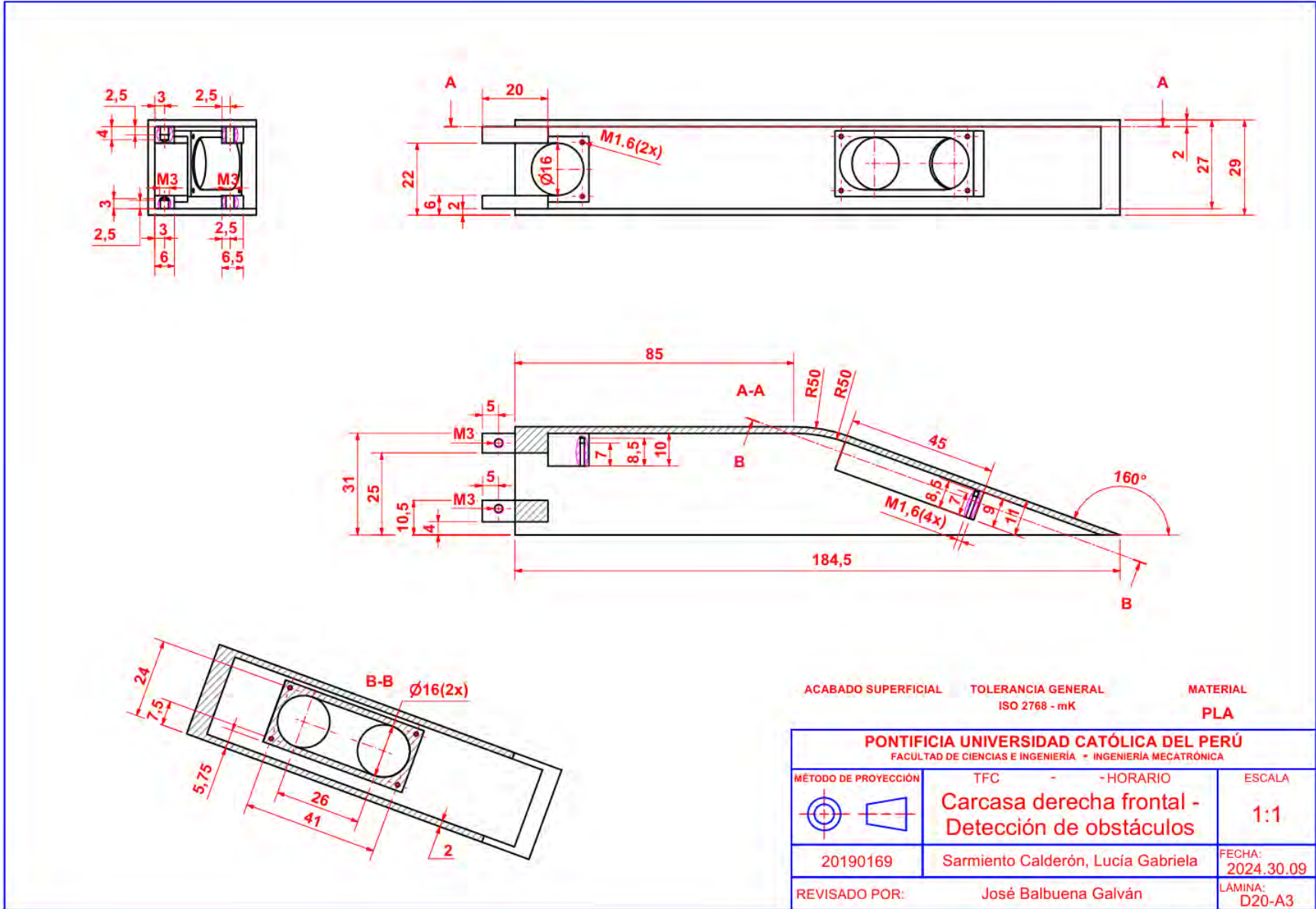
ACABADO SUPERFICIAL: Ra 12.5
 TOLERANCIA GENERAL: ISO 2768 - mK
 MATERIAL: HDPE

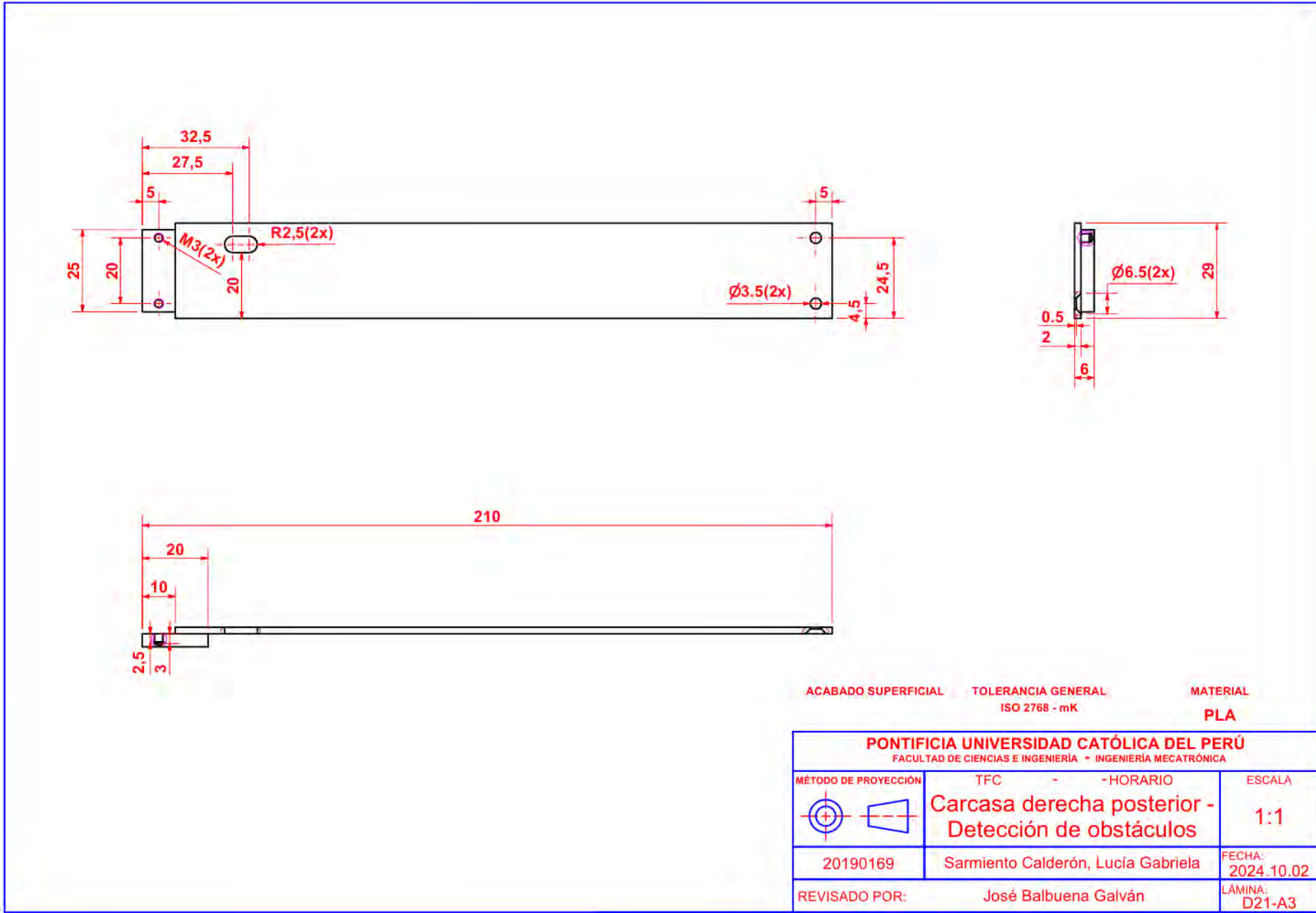
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - -HORARIO	ESCALA
	Tapa carcasa-Sistema de reconocimiento	1:5
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.09.30
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D15-A3

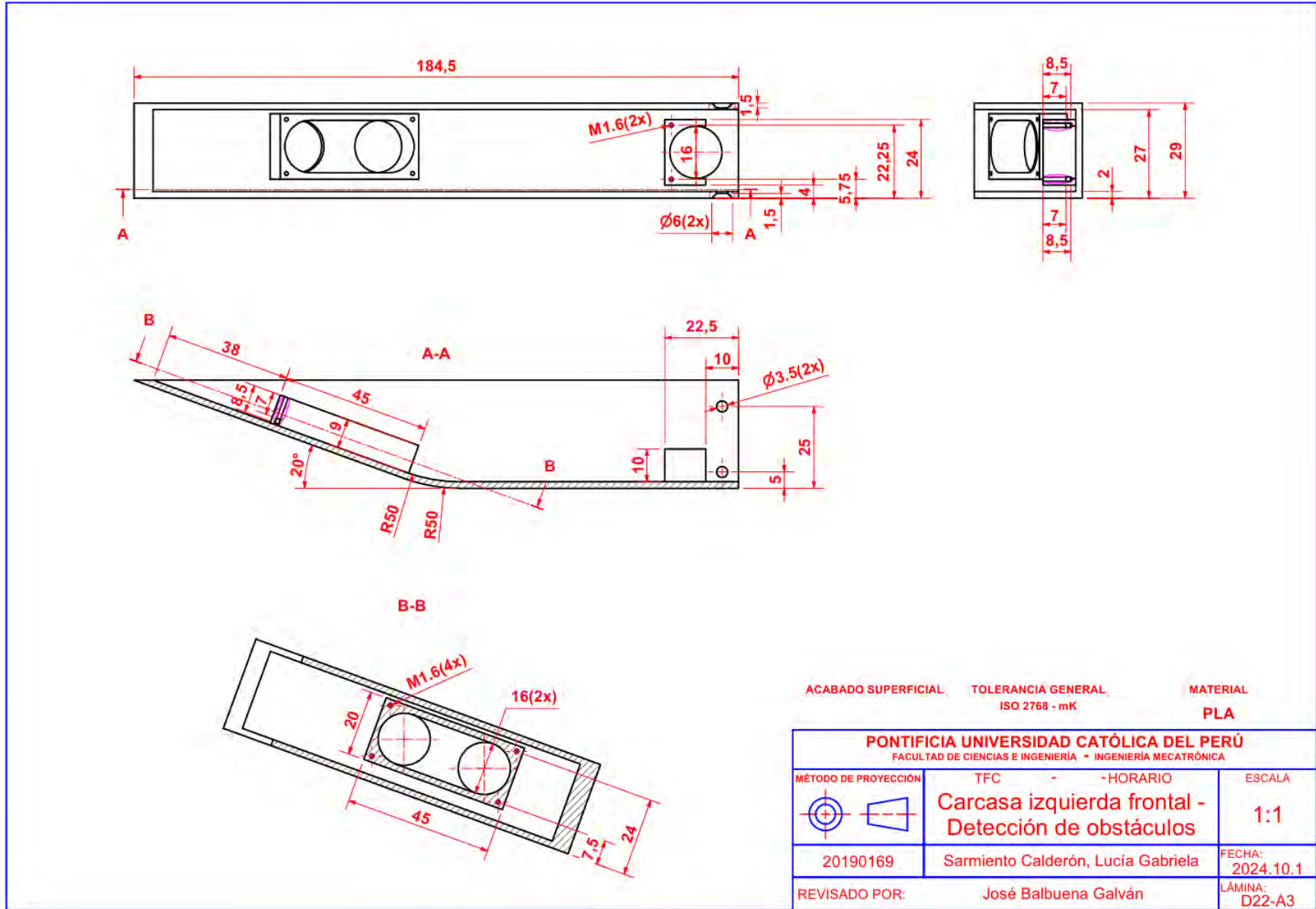


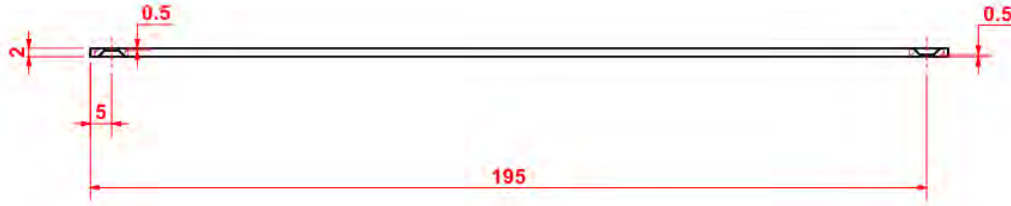
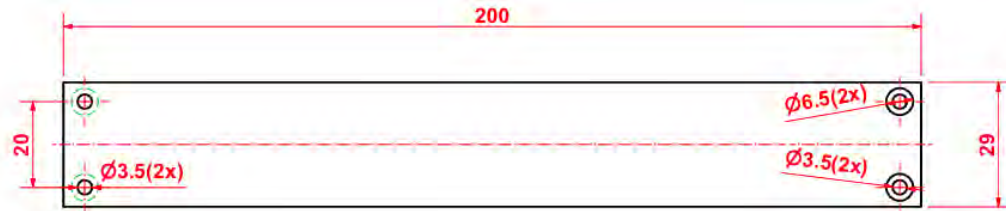






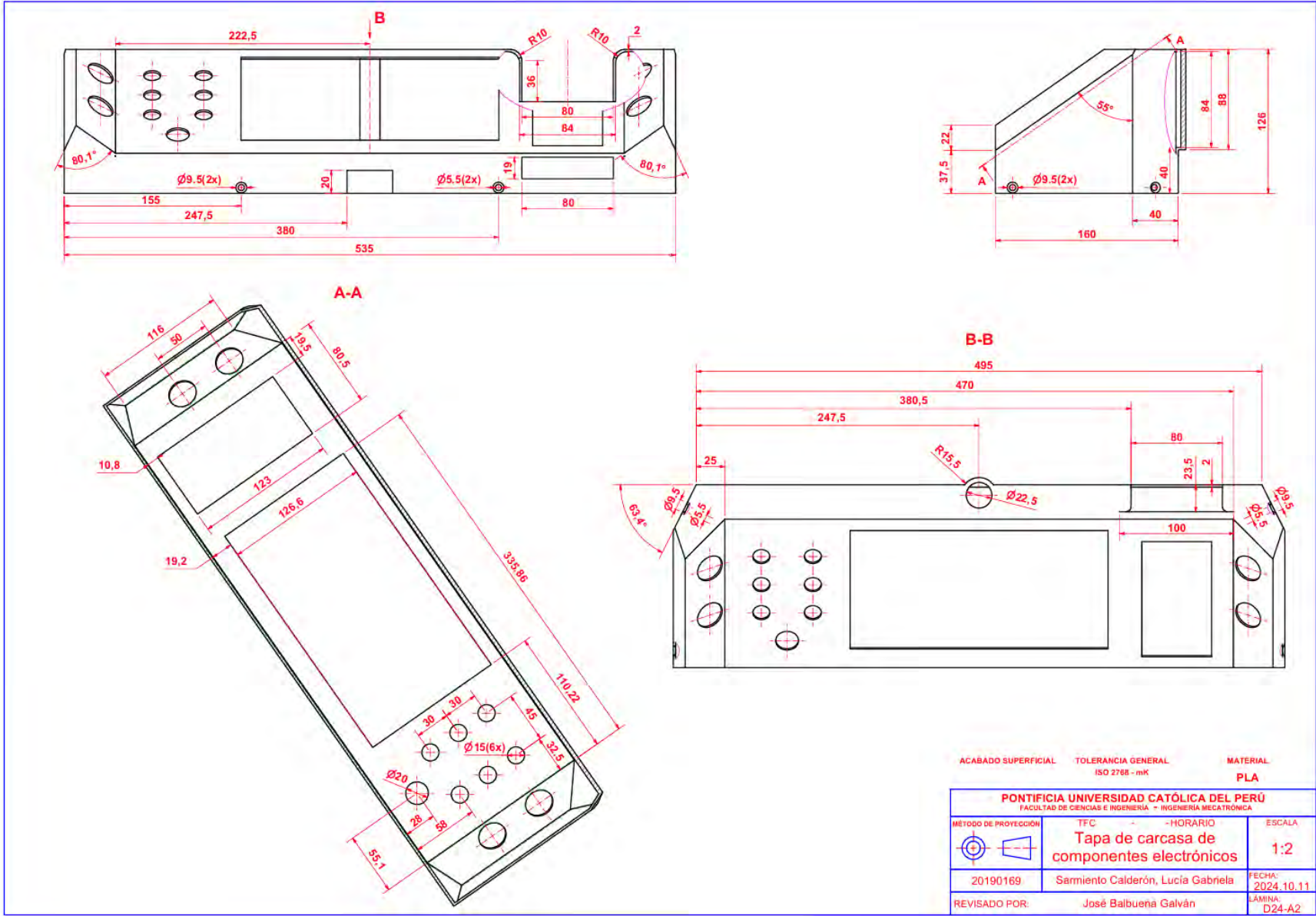






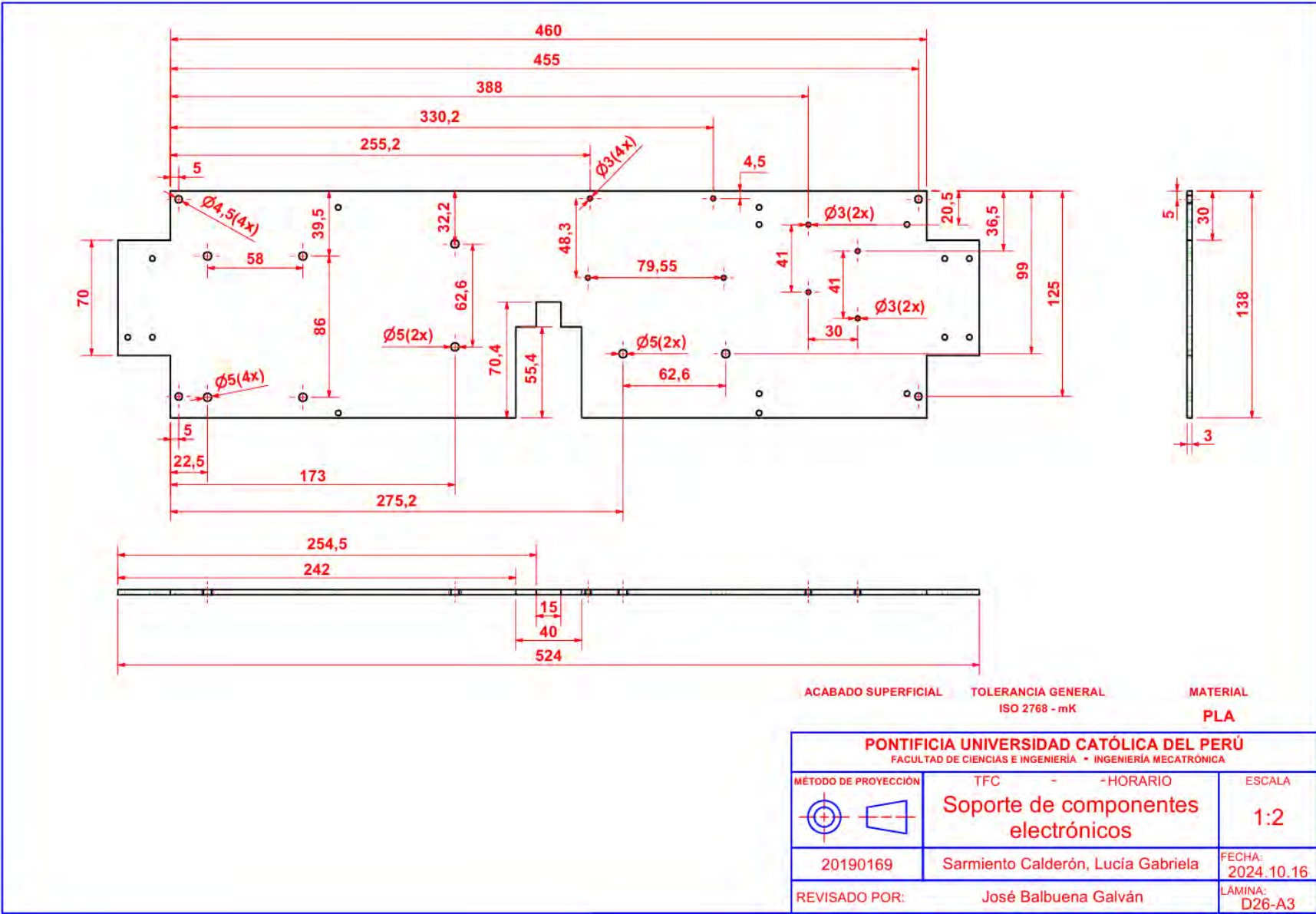
ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIA GENERAL: MATERIAL:
ISO 2768 - mK PLA

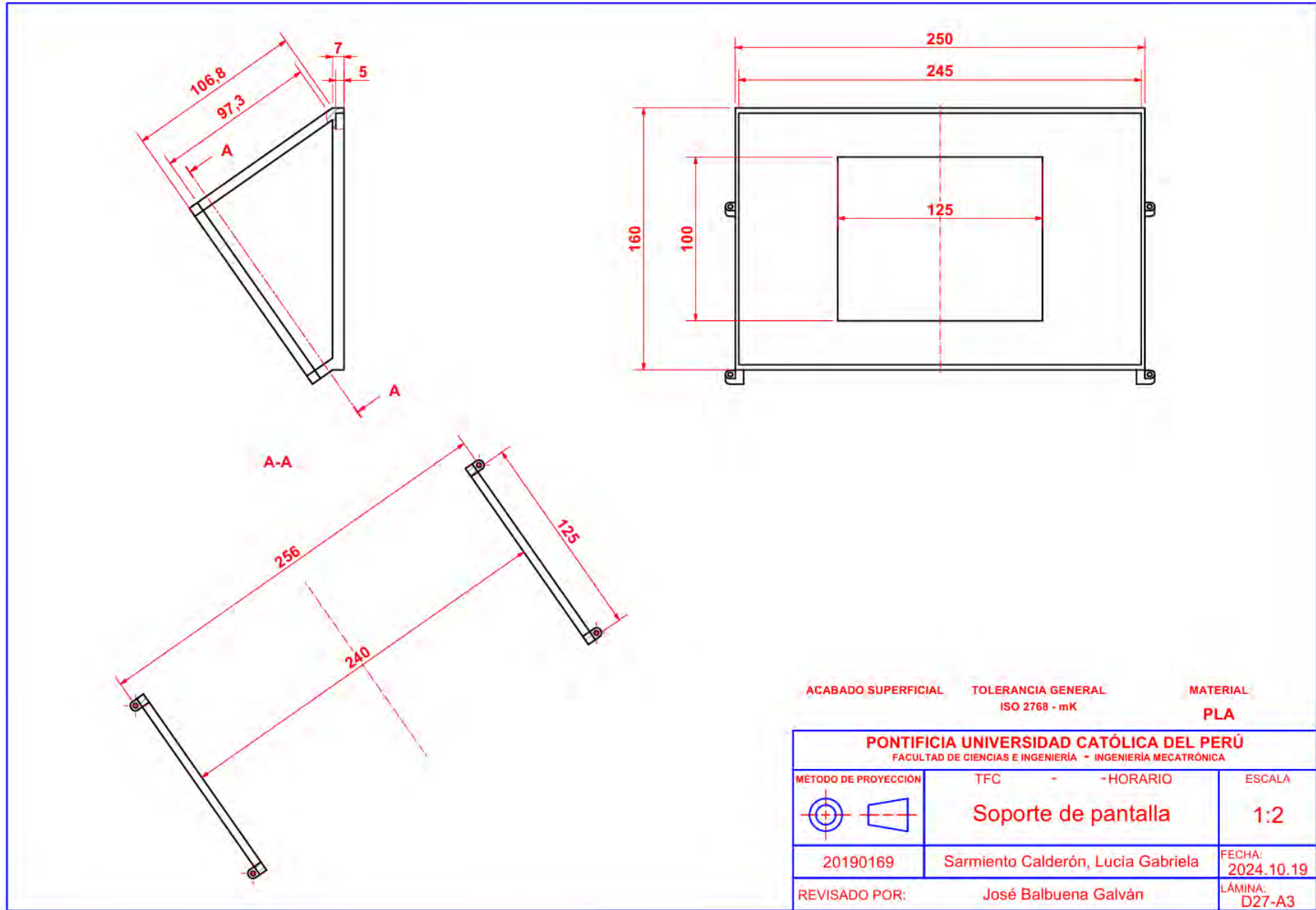
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA • INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - - HORARIO	ESCALA
	Carcasa izquierda posterior - Detección de obstáculos	1:1
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.10.02
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D23-A3

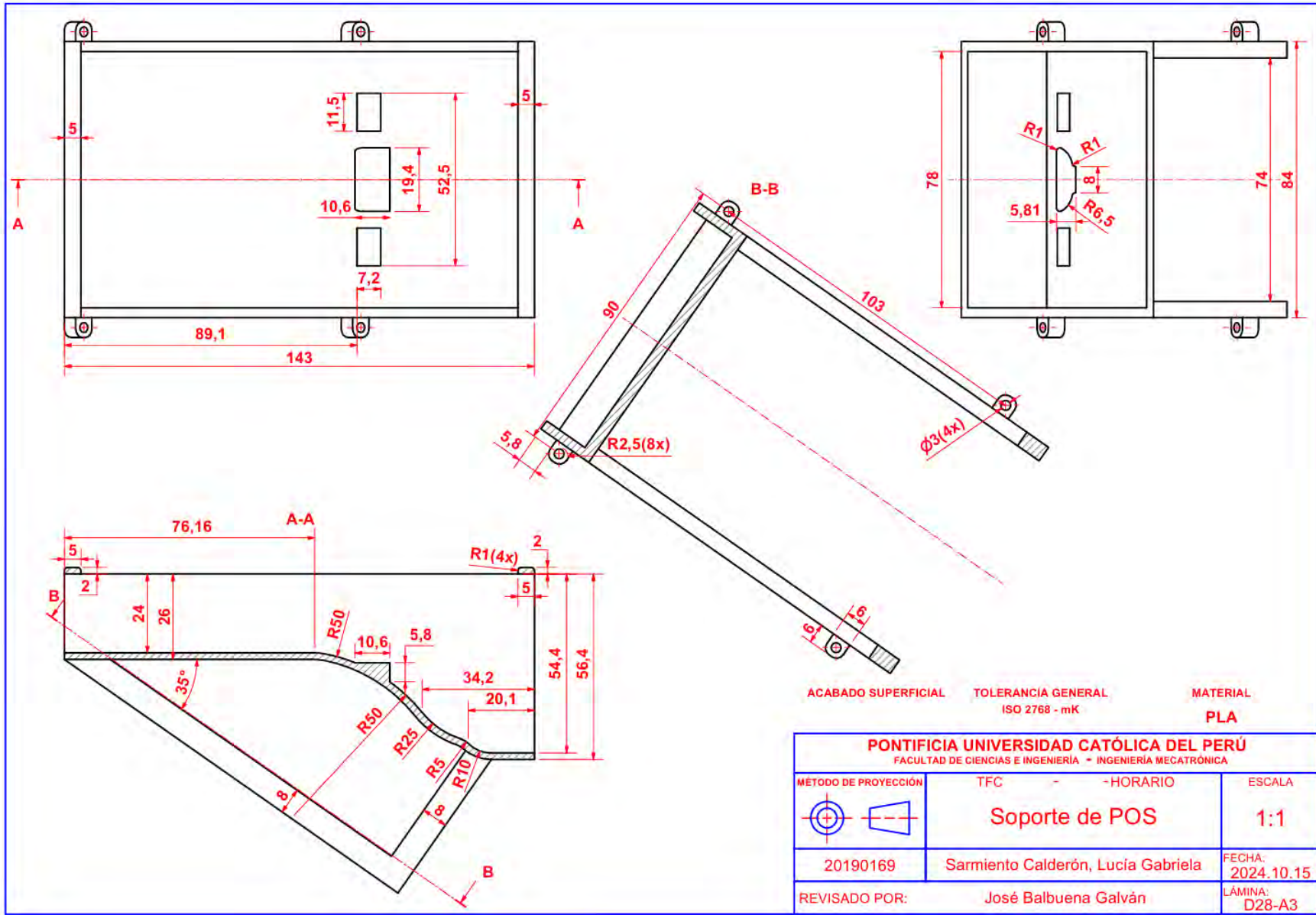


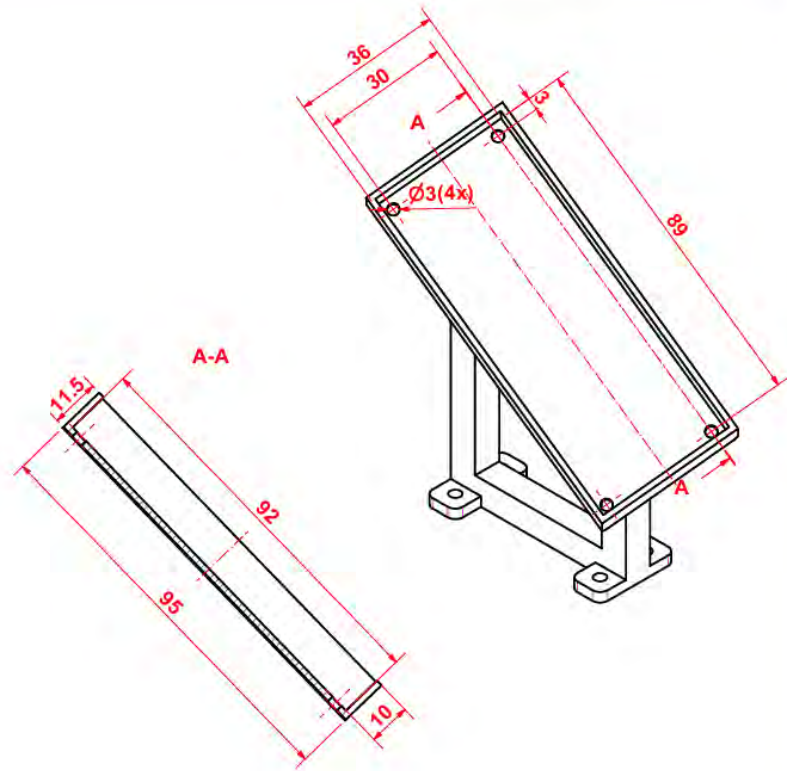
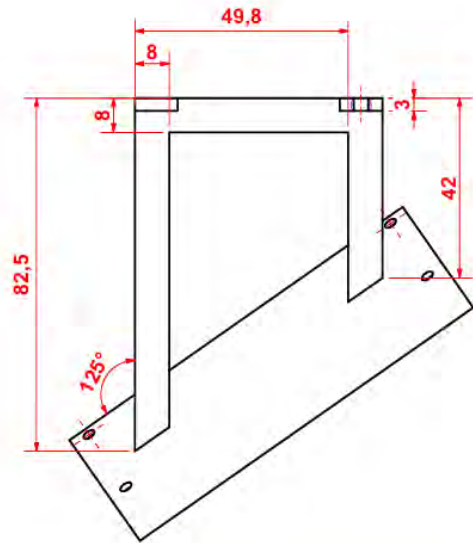
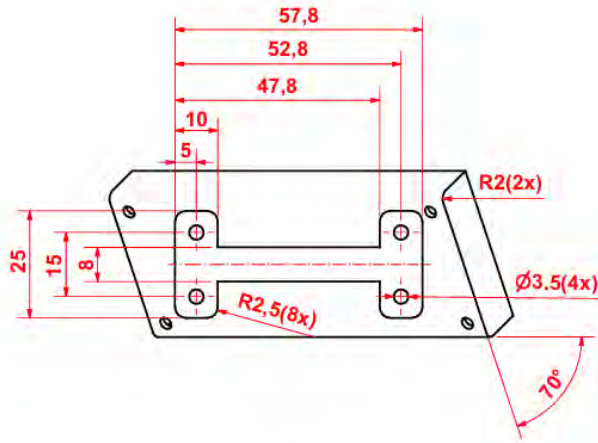
ACABADO SUPERFICIAL TOLERANCIA GENERAL MATERIAL
ISO 2768 - mK PLA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - HORARIO	ESCALA
	Tapa de carcasa de componentes electrónicos	1:2
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.10.11
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D24-A2



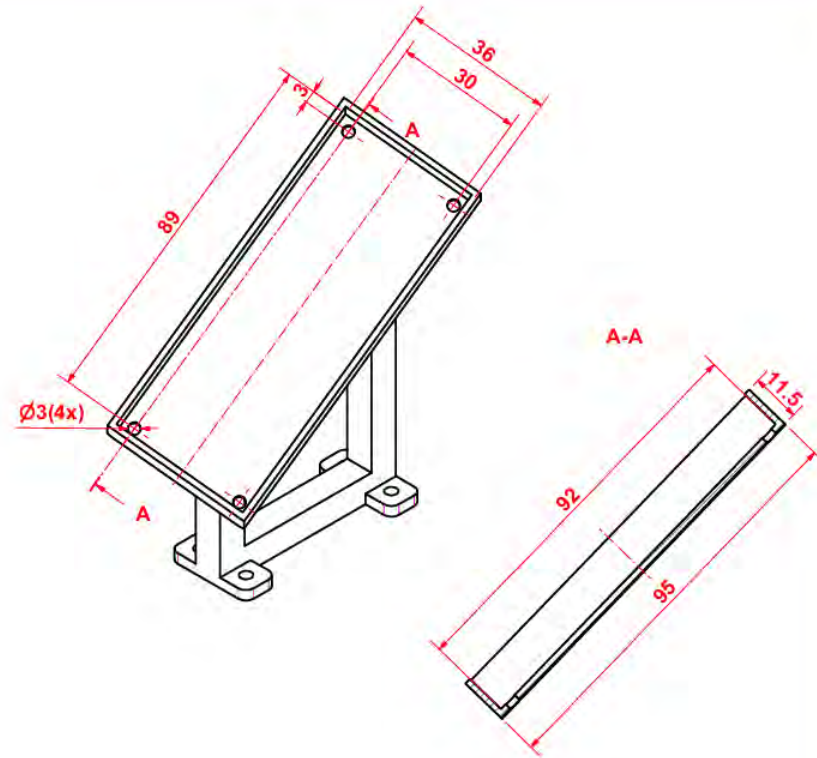
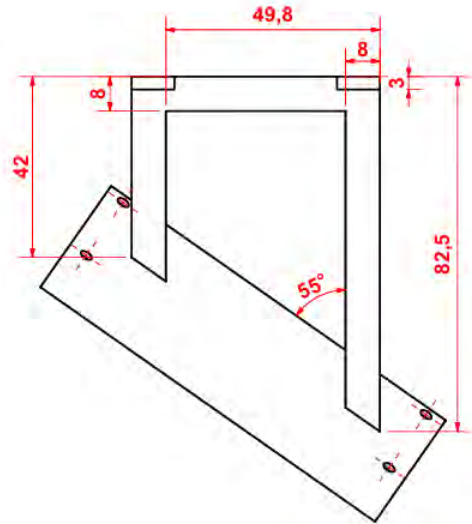
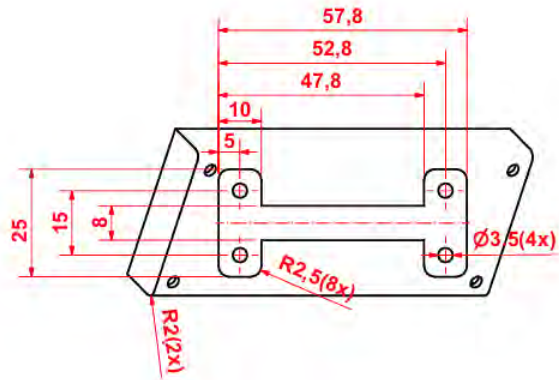






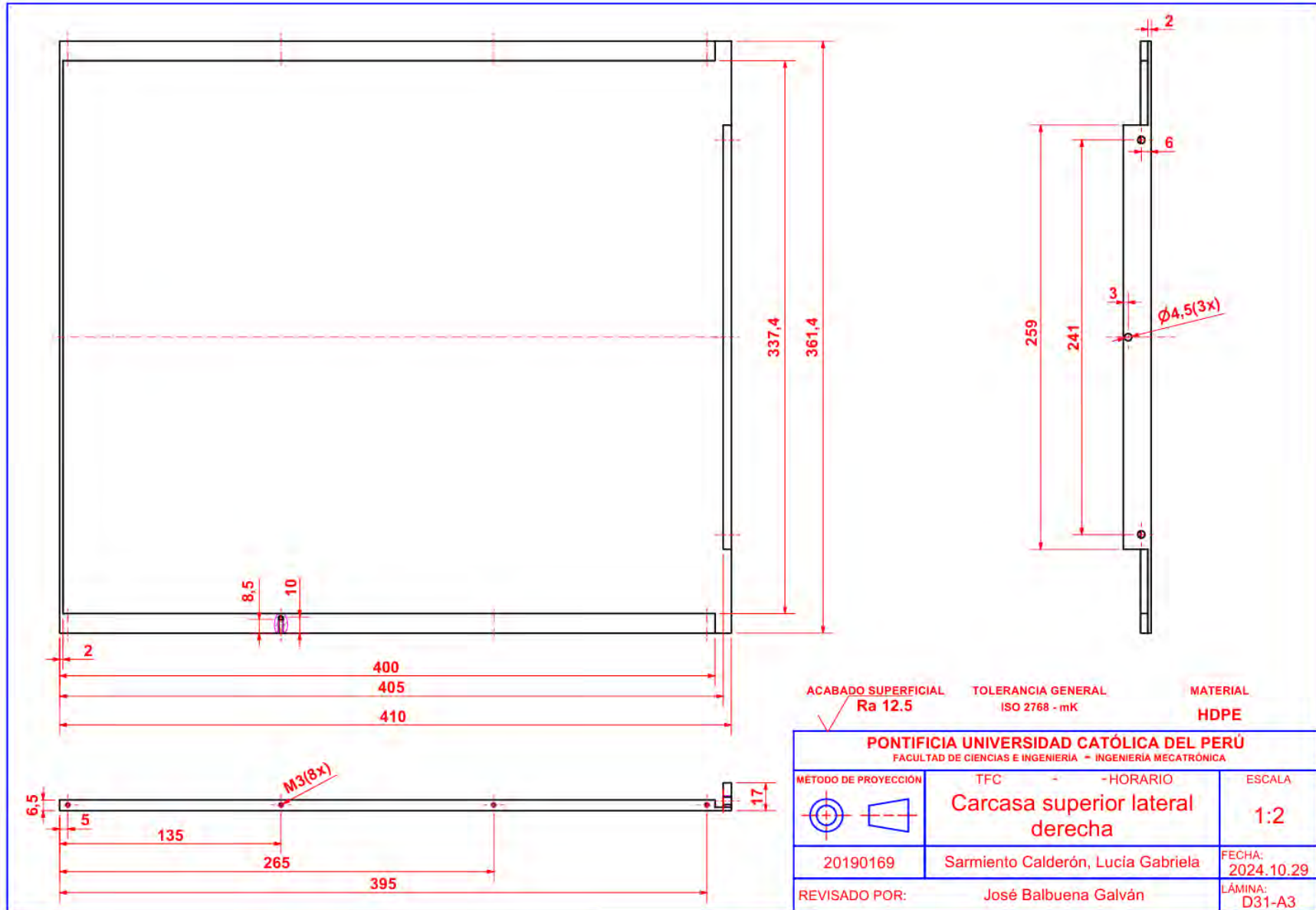
ACABADO SUPERFICIAL TOLERANCIA GENERAL MATERIAL
ISO 2768 - mK PLA

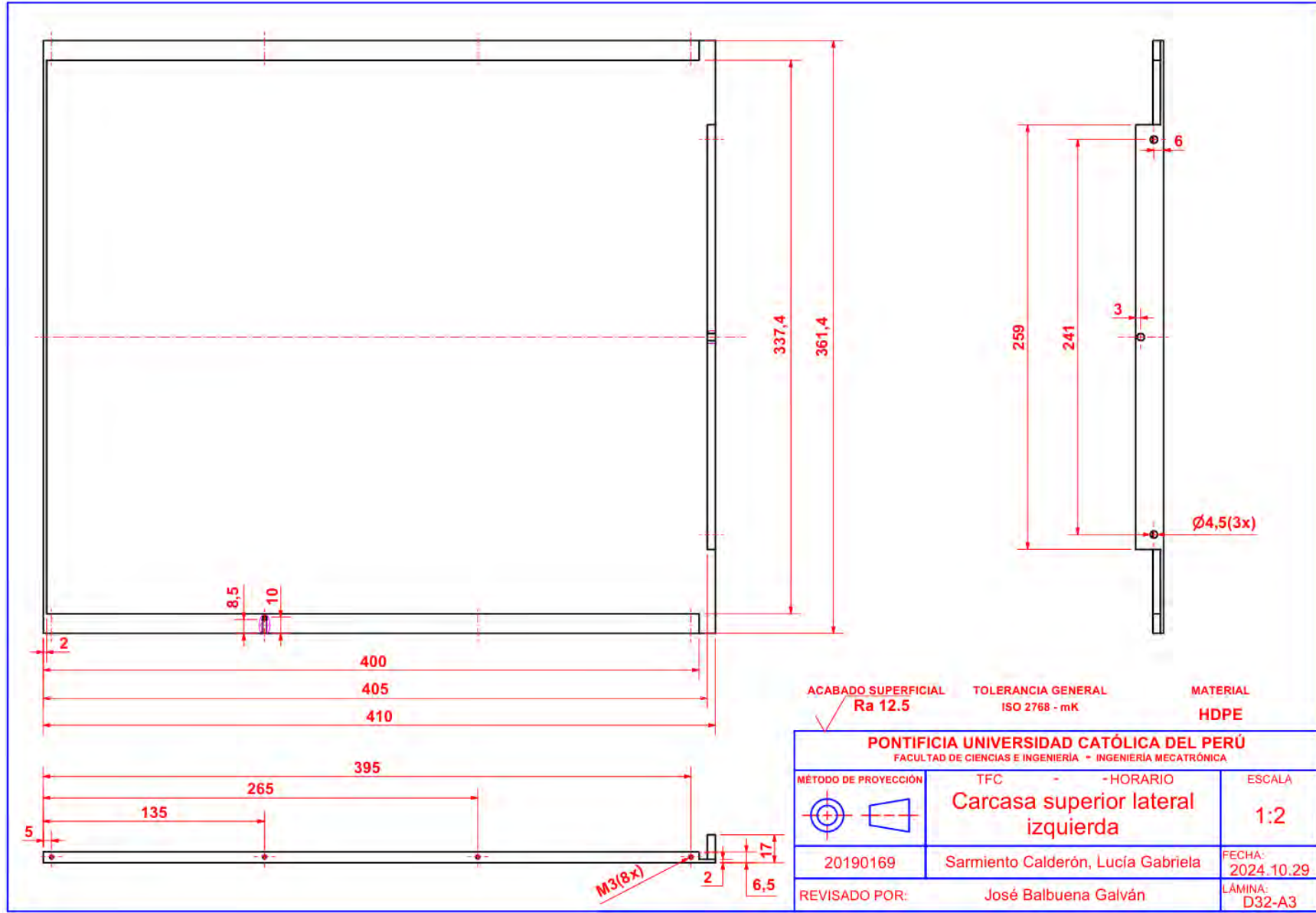
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TFC - -HORARIO Soporte de parlante izquierdo	ESCALA 1:1
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.10.16
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D29-A3

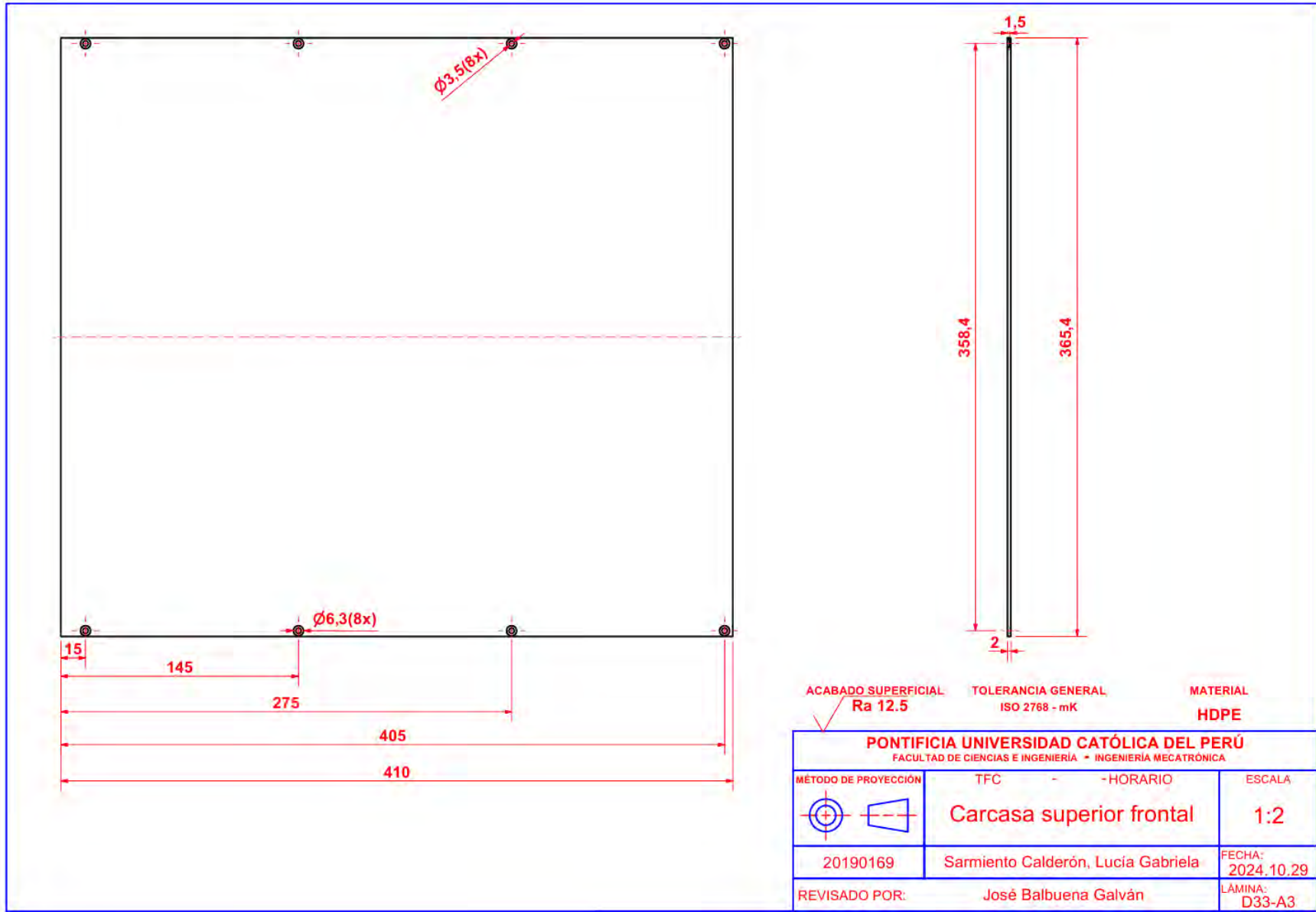


ACABADO SUPERFICIAL TOLERANCIA GENERAL MATERIAL
ISO 2768 - mK PLA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - HORARIO	ESCALA
	Soporte parlante derecho	1:1
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.10.19
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D30-A3

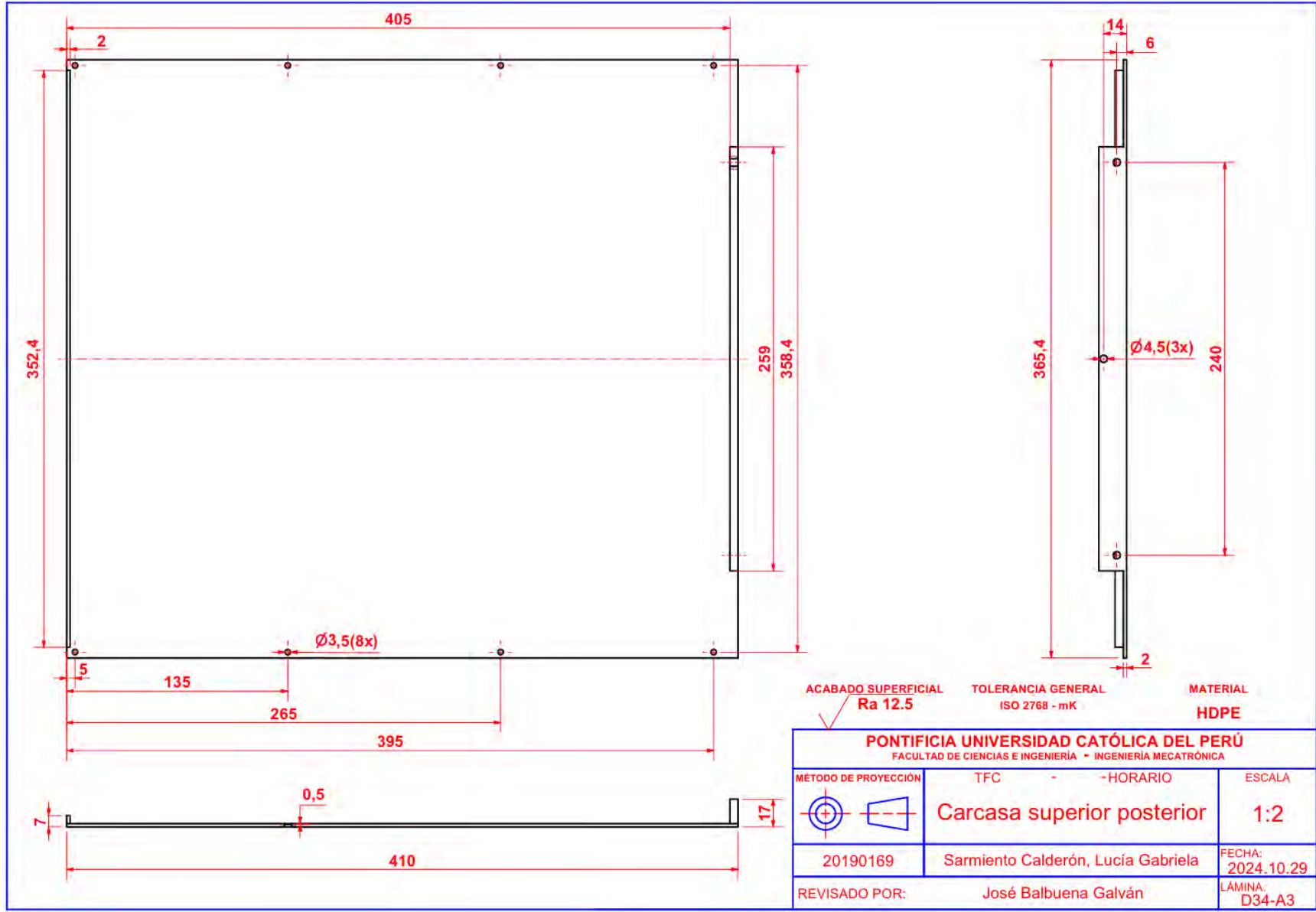


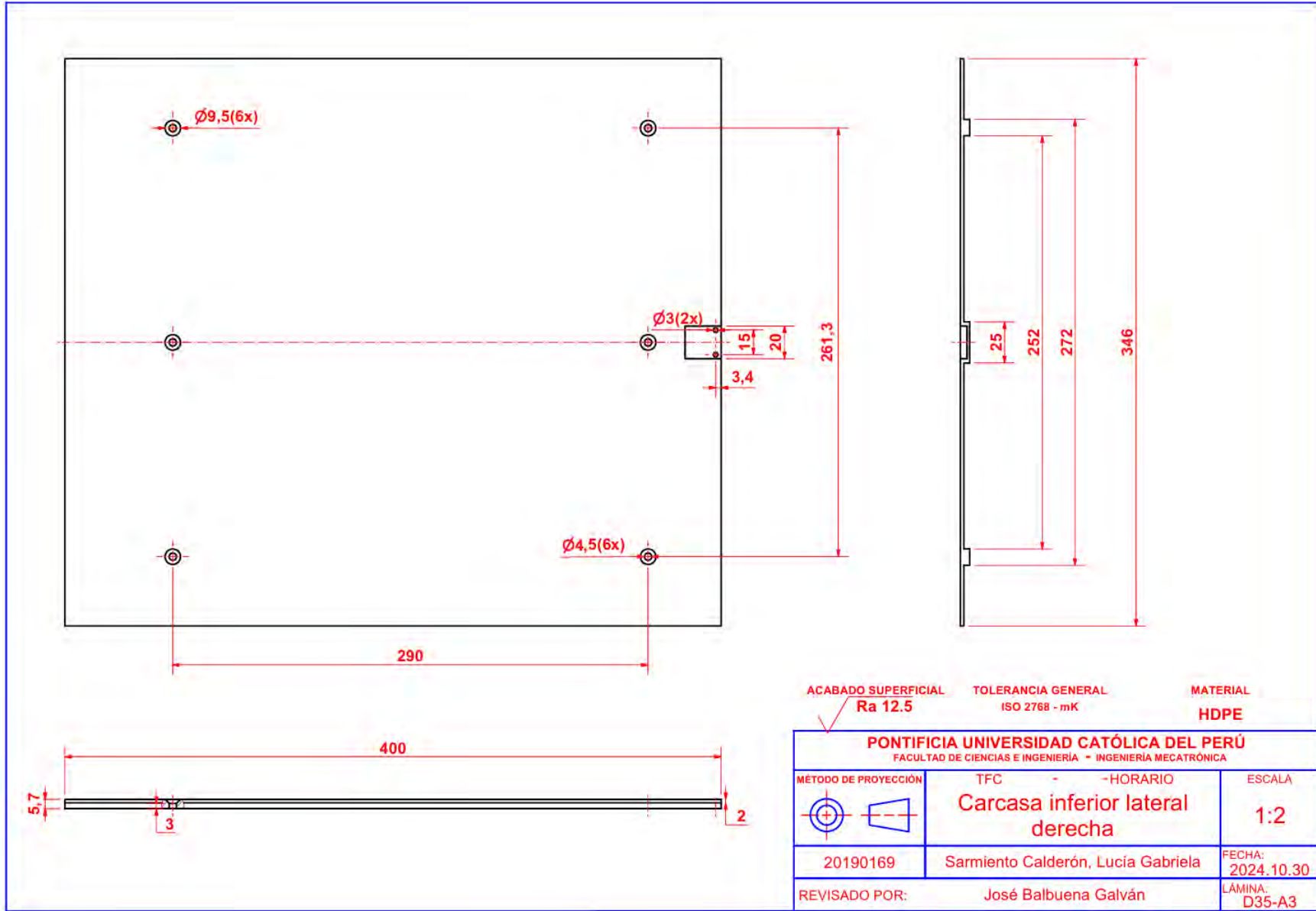


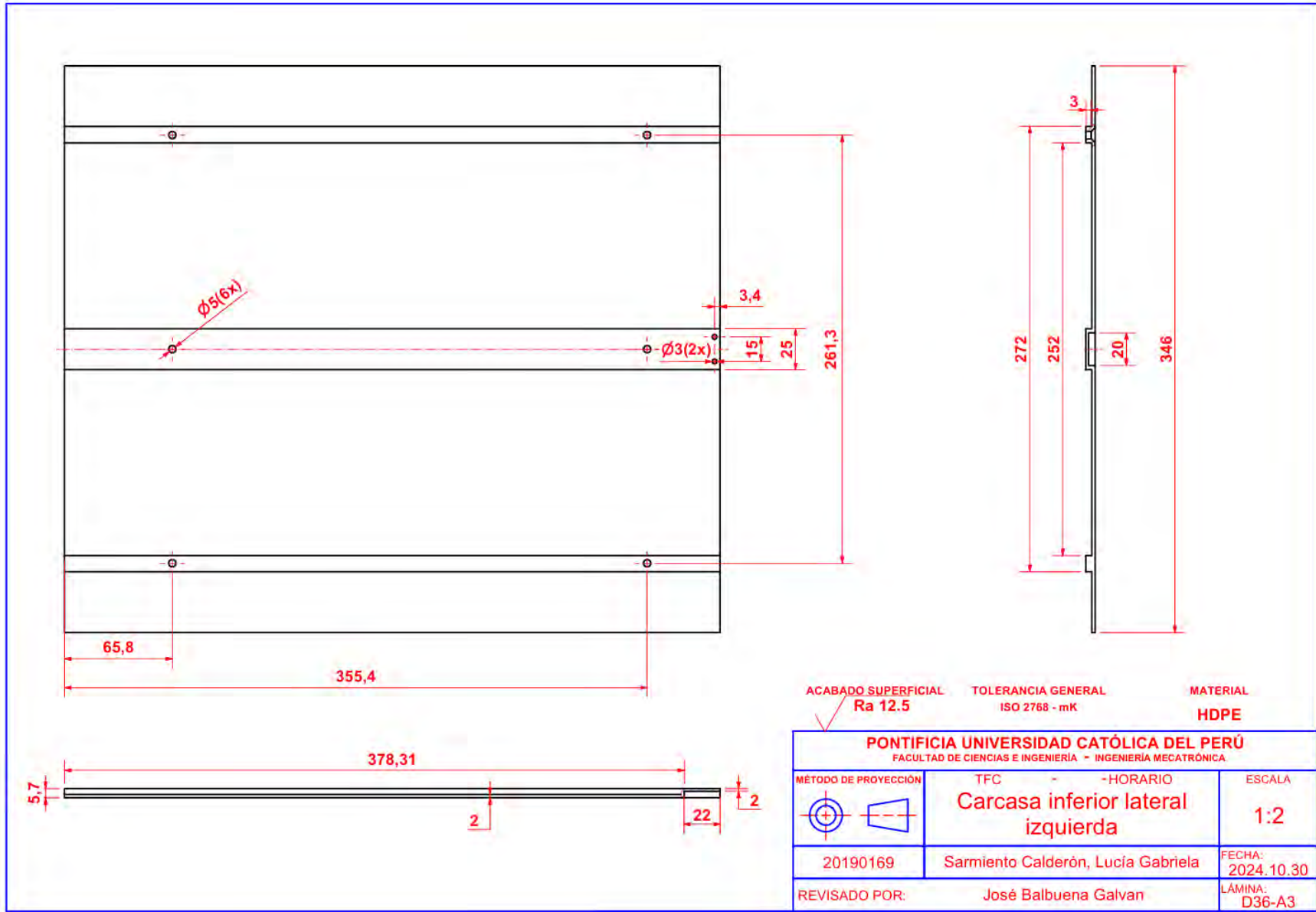


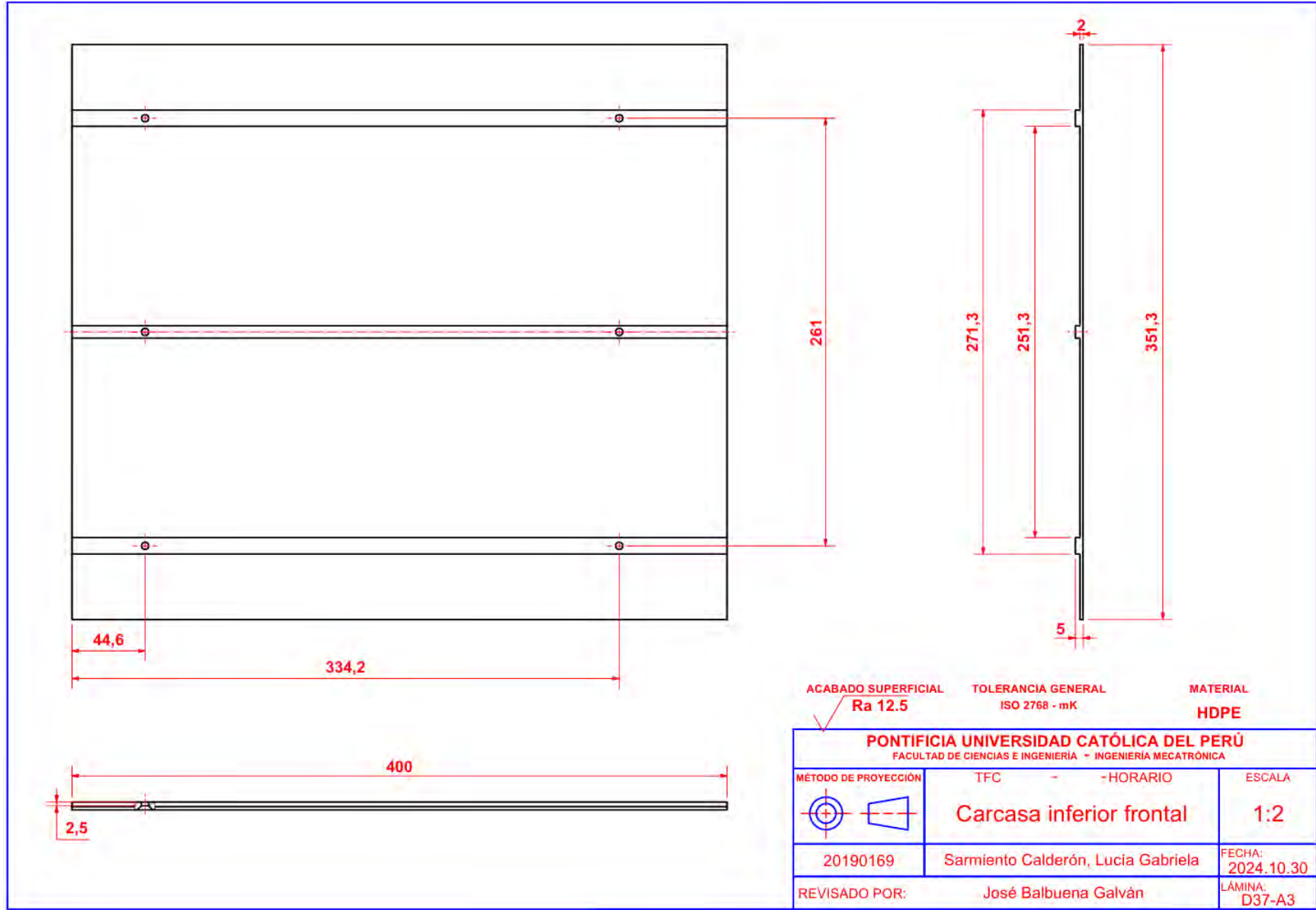
ACABADO SUPERFICIAL: Ra 12.5
 TOLERANCIA GENERAL: ISO 2768 - mK
 MATERIAL: HDPE

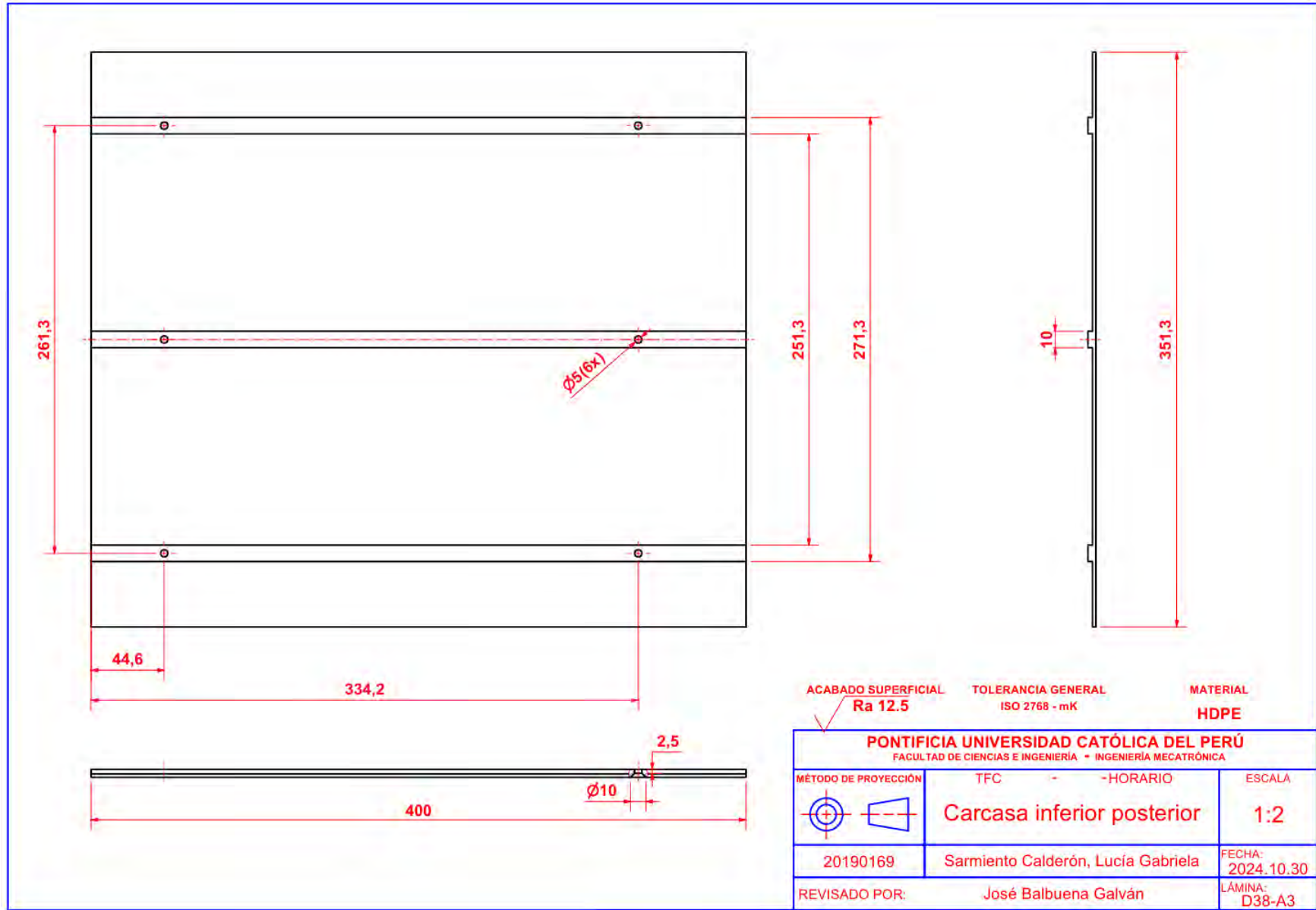
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA • INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TFC - -HORARIO	ESCALA 1:2
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.10.29
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D33-A3

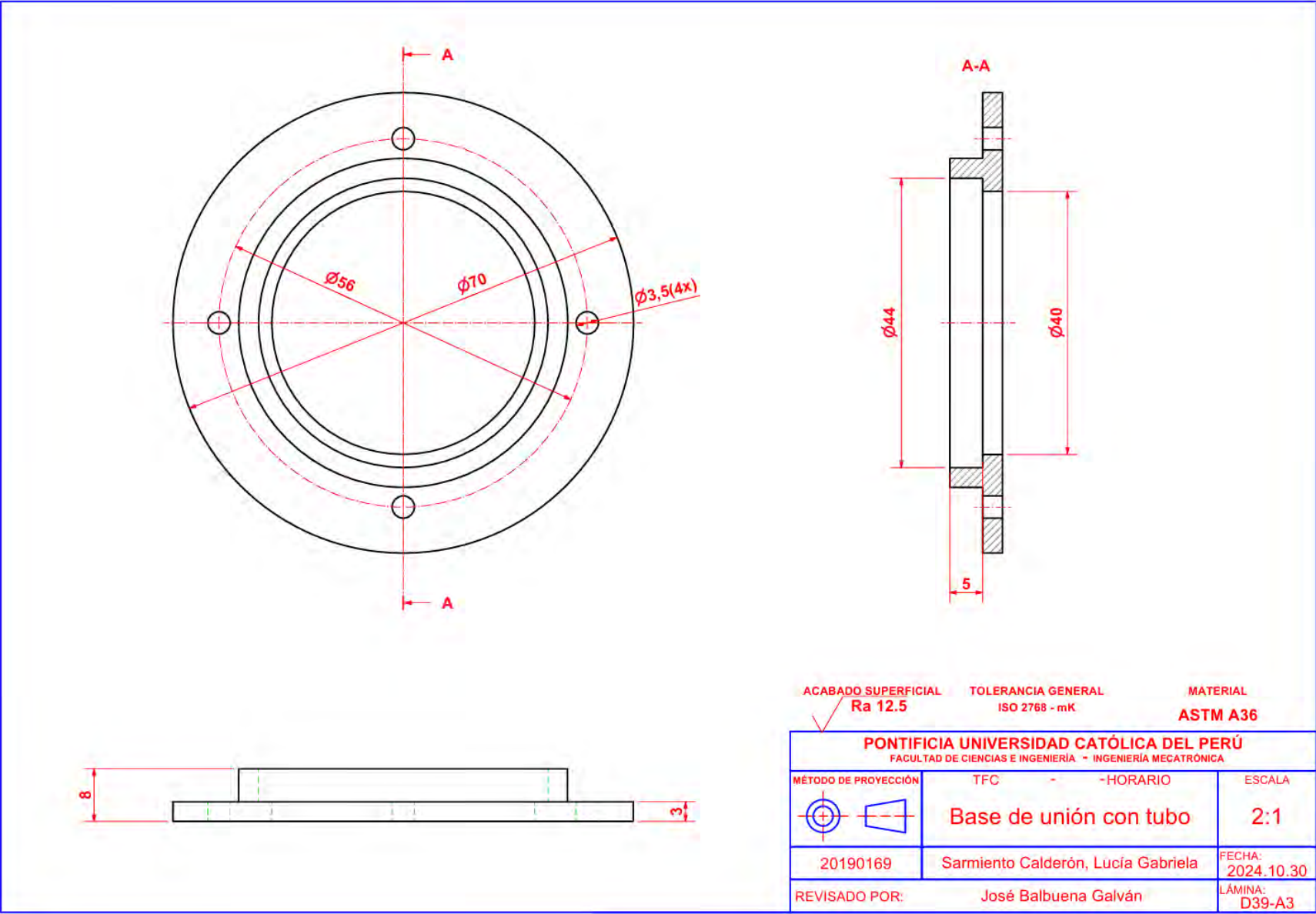


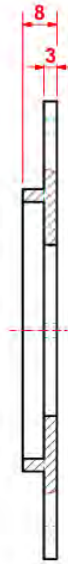
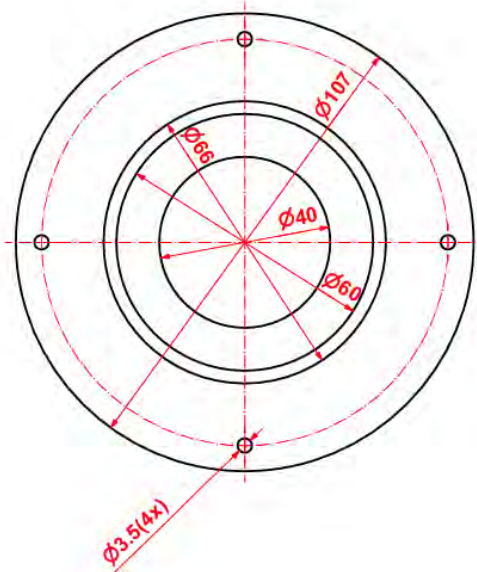






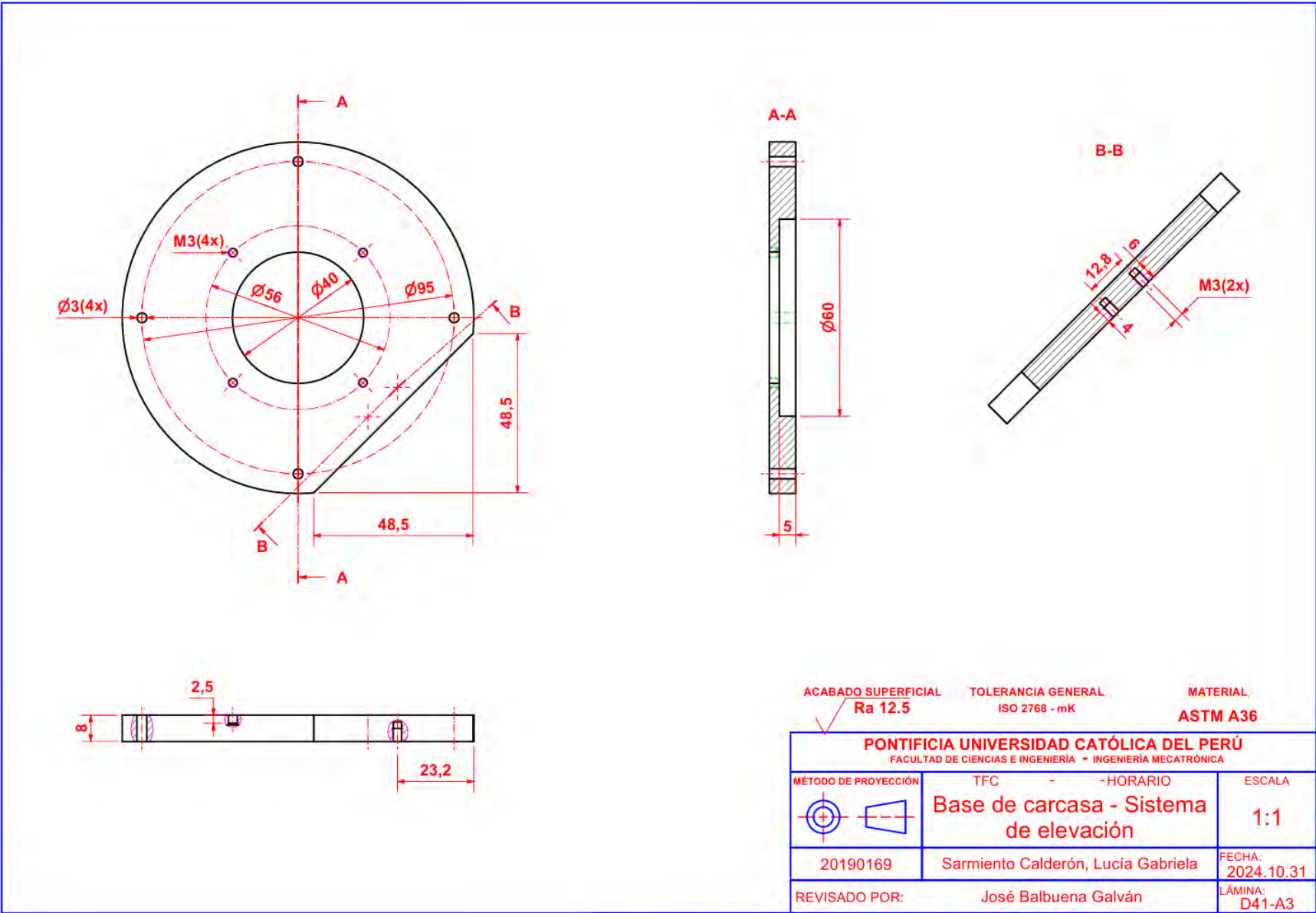






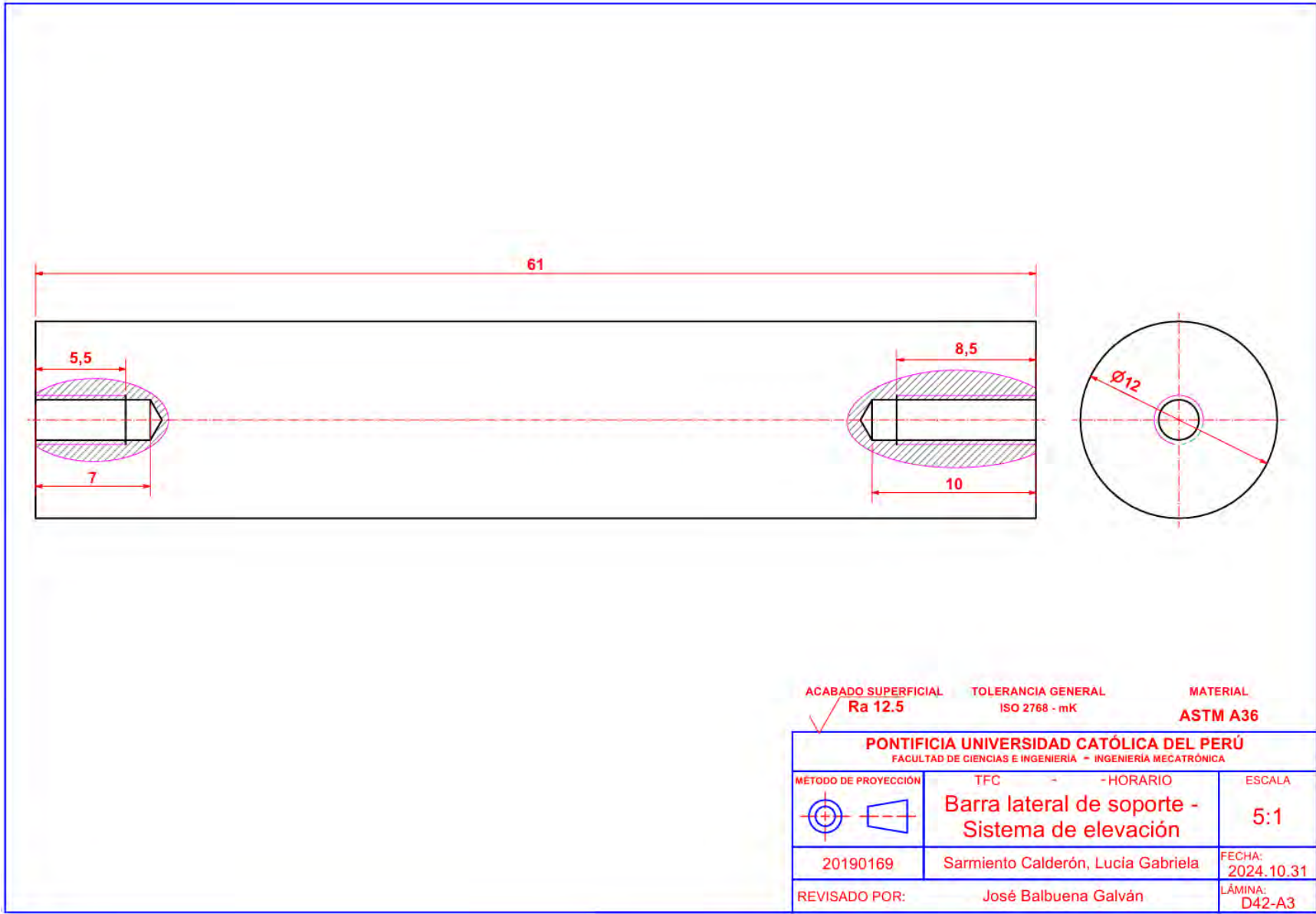
ACABADO SUPERFICIAL: Ra 12.5
 TOLERANCIA GENERAL: ISO 2768 - mK
 MATERIAL: ASTM A36

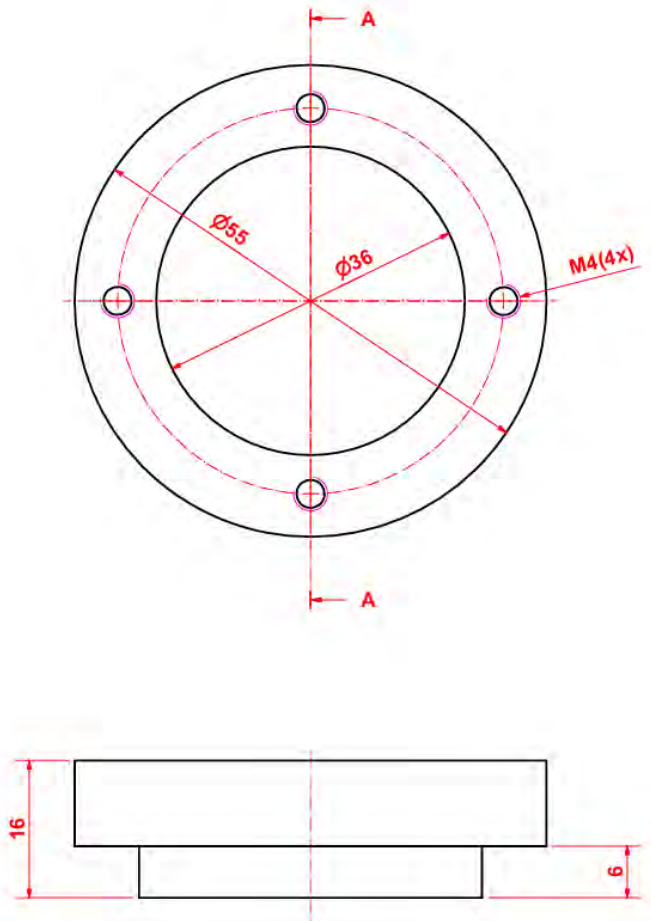
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA • INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - -HORARIO	ESCALA
	Tapa de carcasa - Sistema de elevación	1:1
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.10.31
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D40-A3



ACABADO SUPERFICIAL Ra 12.5 TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 - mK MATERIAL ASTM A36

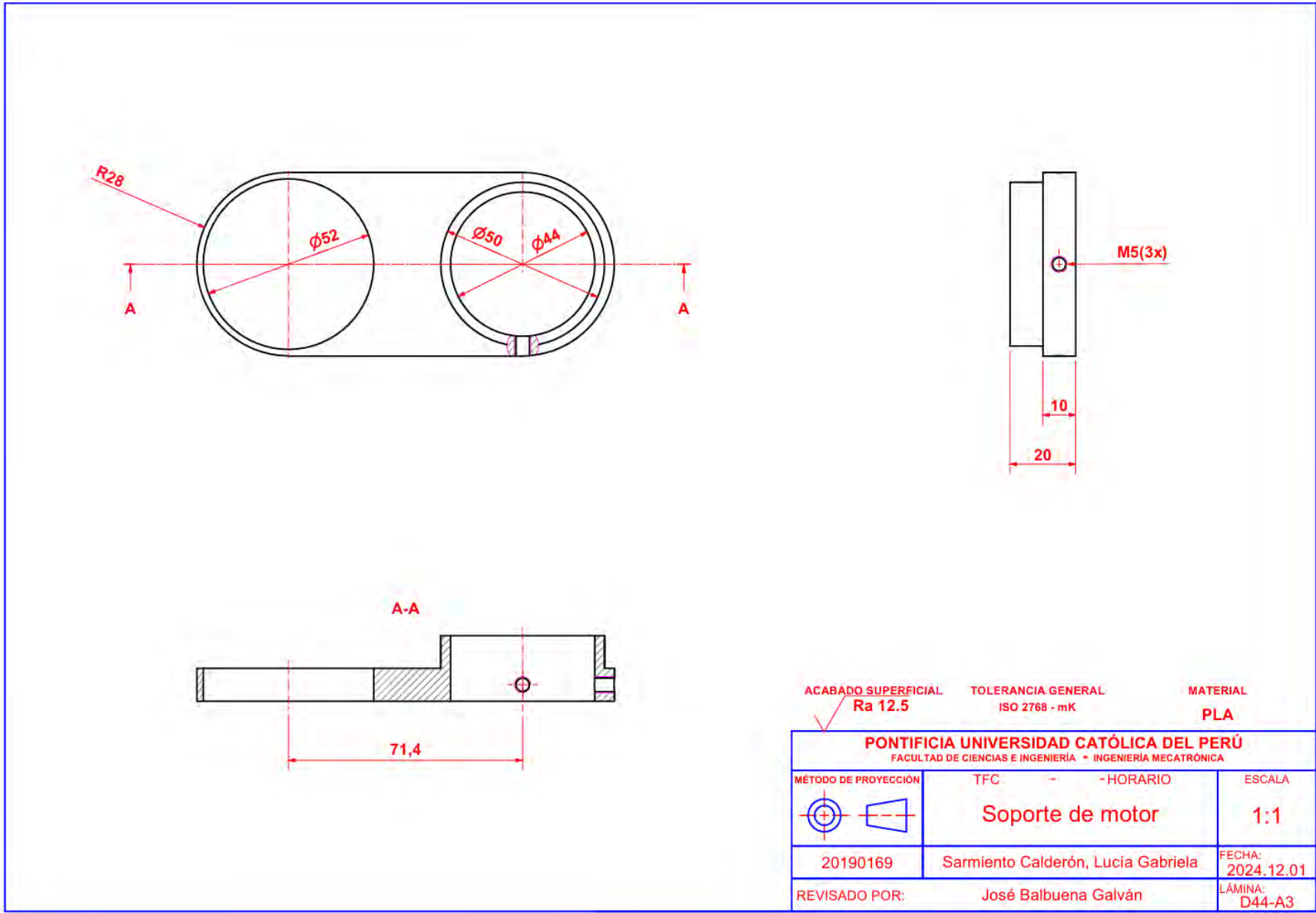
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA • INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	TFC - -HORARIO Base de carcasa - Sistema de elevación	ESCALA 1:1
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.10.31
REVISADO POR: José Balbuena Galván		LÁMINA: D41-A3





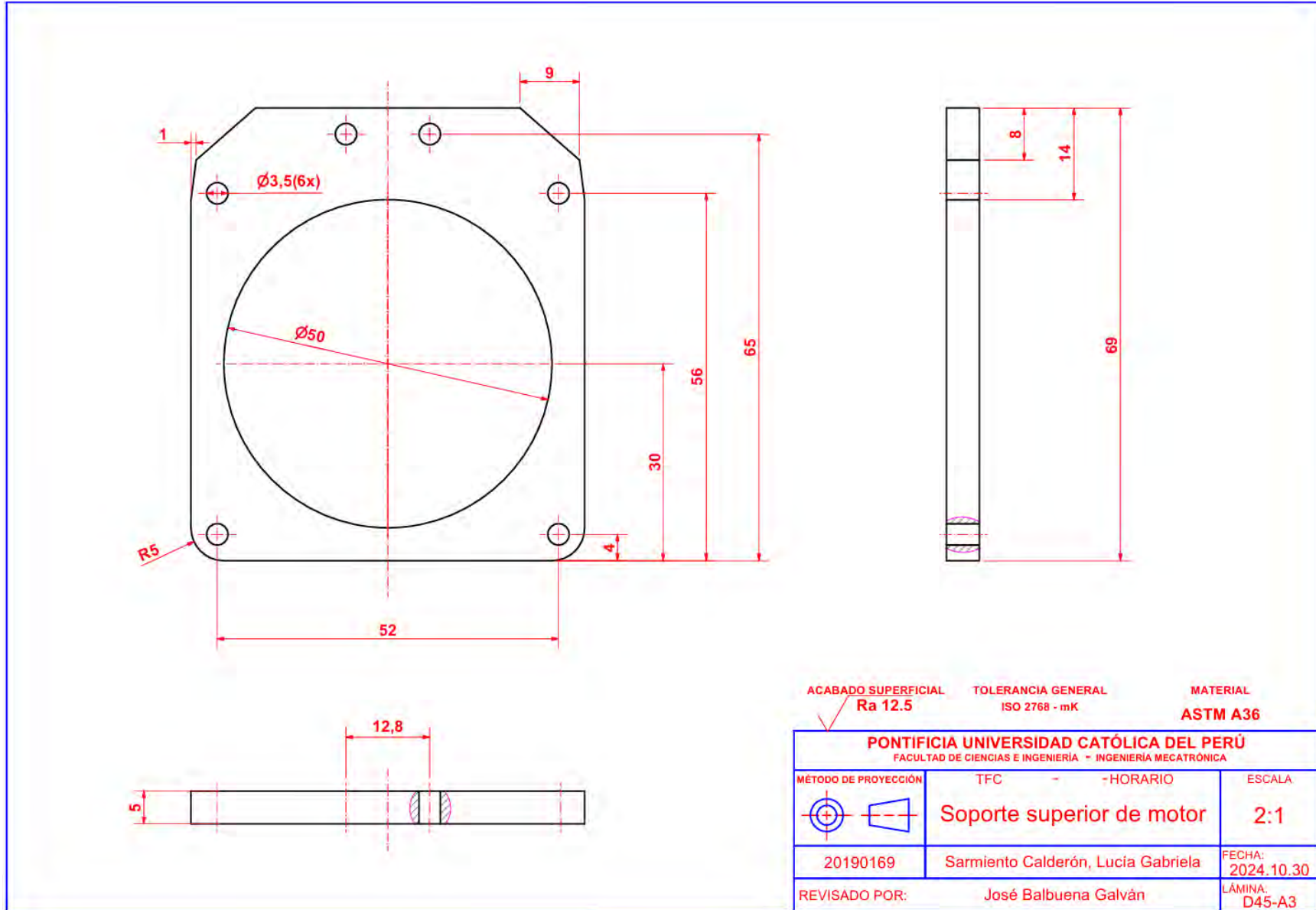
ACABADO SUPERFICIAL: Ra 12.5
 TOLERANCIA GENERAL: ISO 2768 - mK
 MATERIAL: ASTM A36

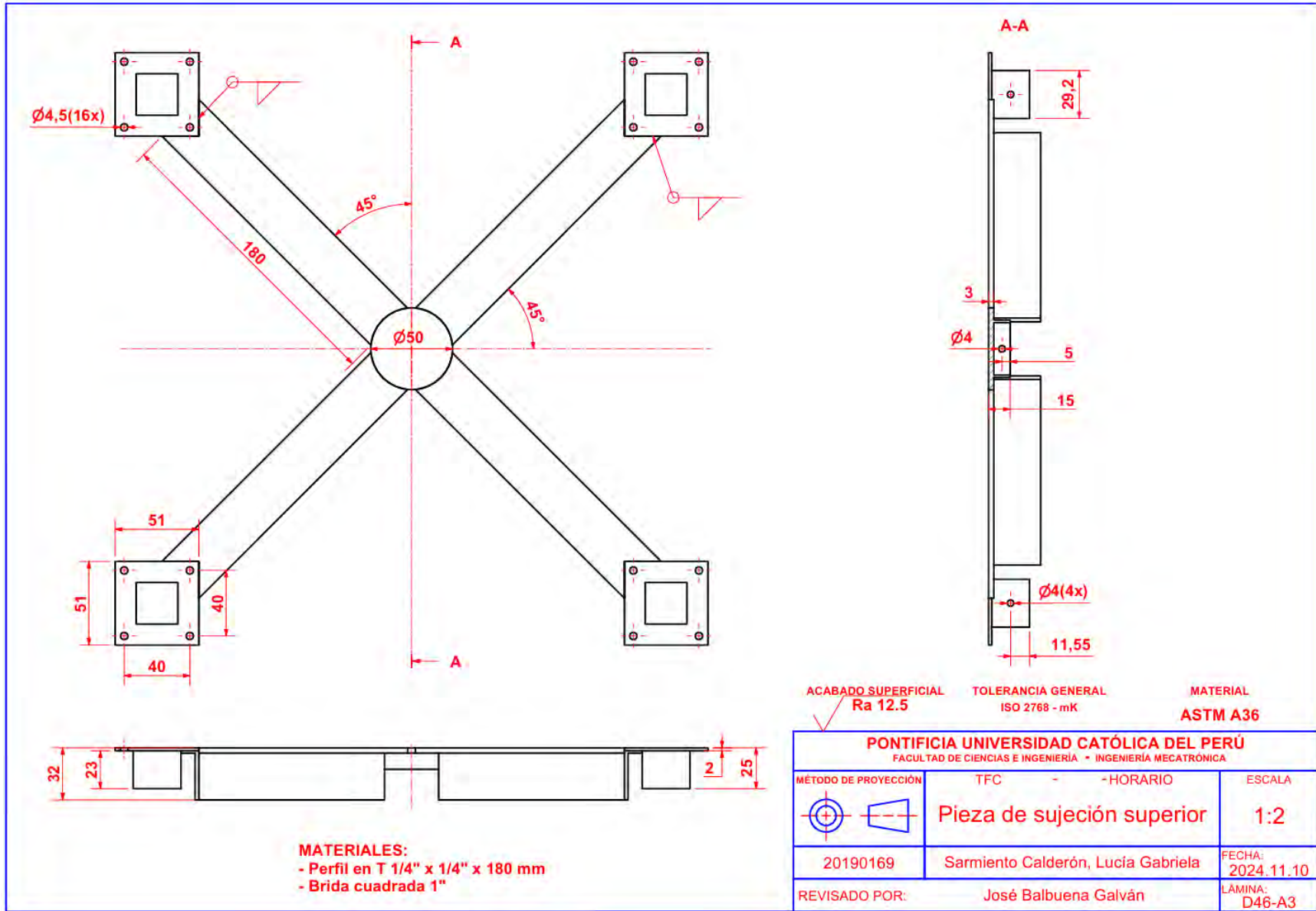
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - -HORARIO	ESCALA
	Soporte de rodamiento	2:1
20190169	Sarmiento Calderón, Lucia Gabriela	FECHA: 2024.10.30
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D43-A3

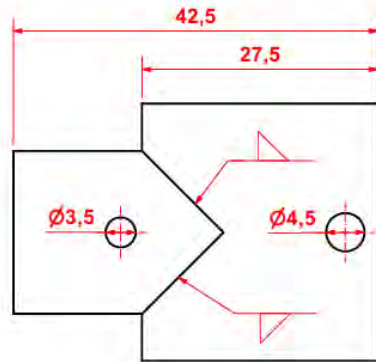
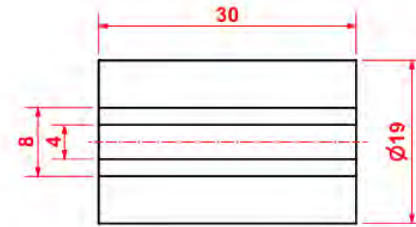
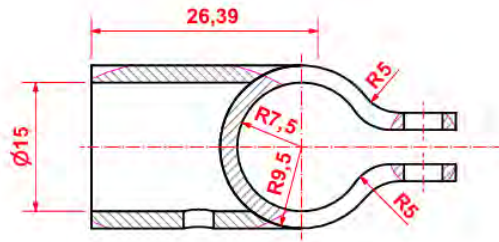


ACABADO SUPERFICIAL Ra 12.5 TOLERANCIA GENERAL ISO 2768 - mK MATERIAL PLA

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA • INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - - HORARIO	ESCALA
	Soporte de motor	1:1
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.12.01
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: D44-A3

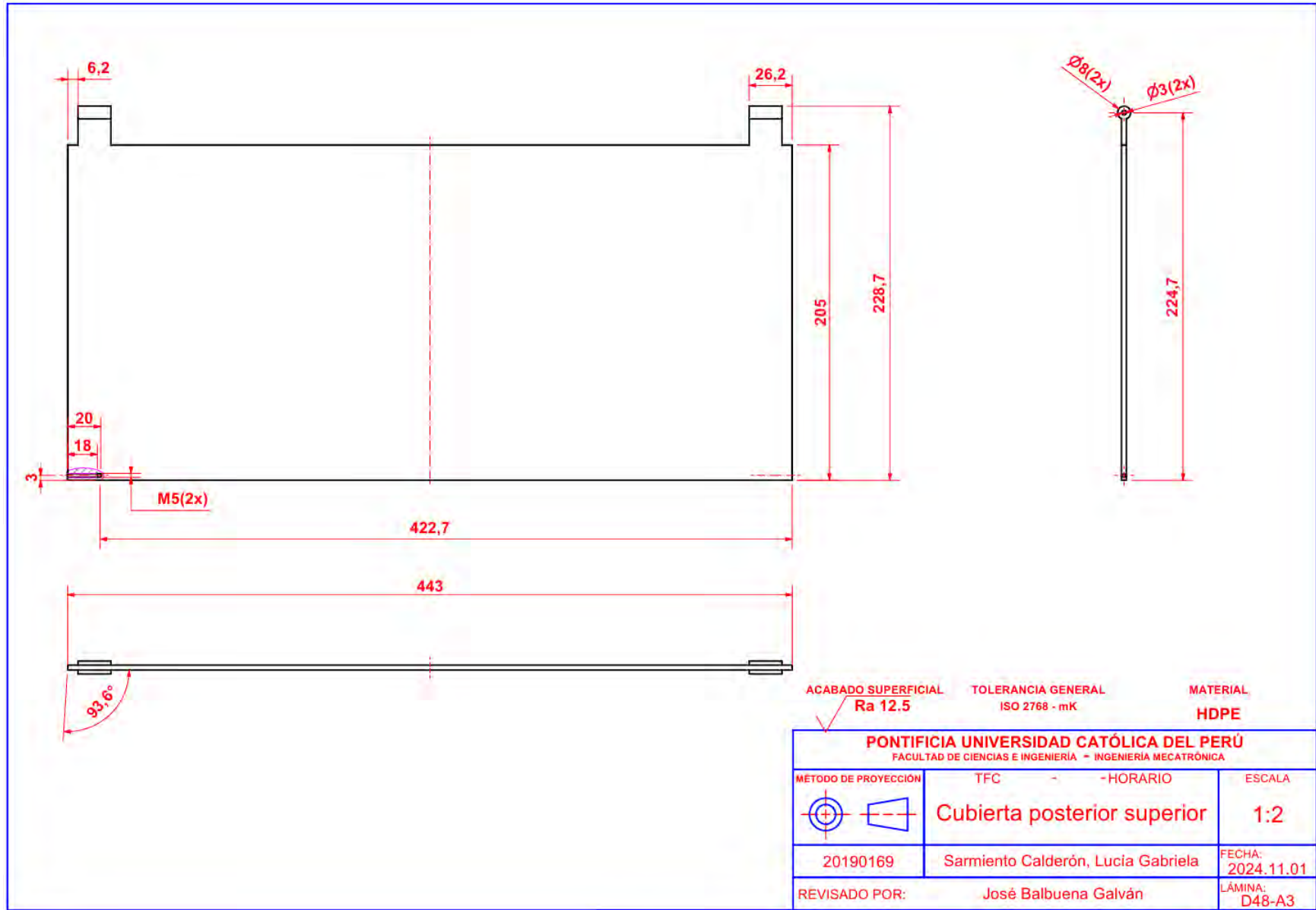


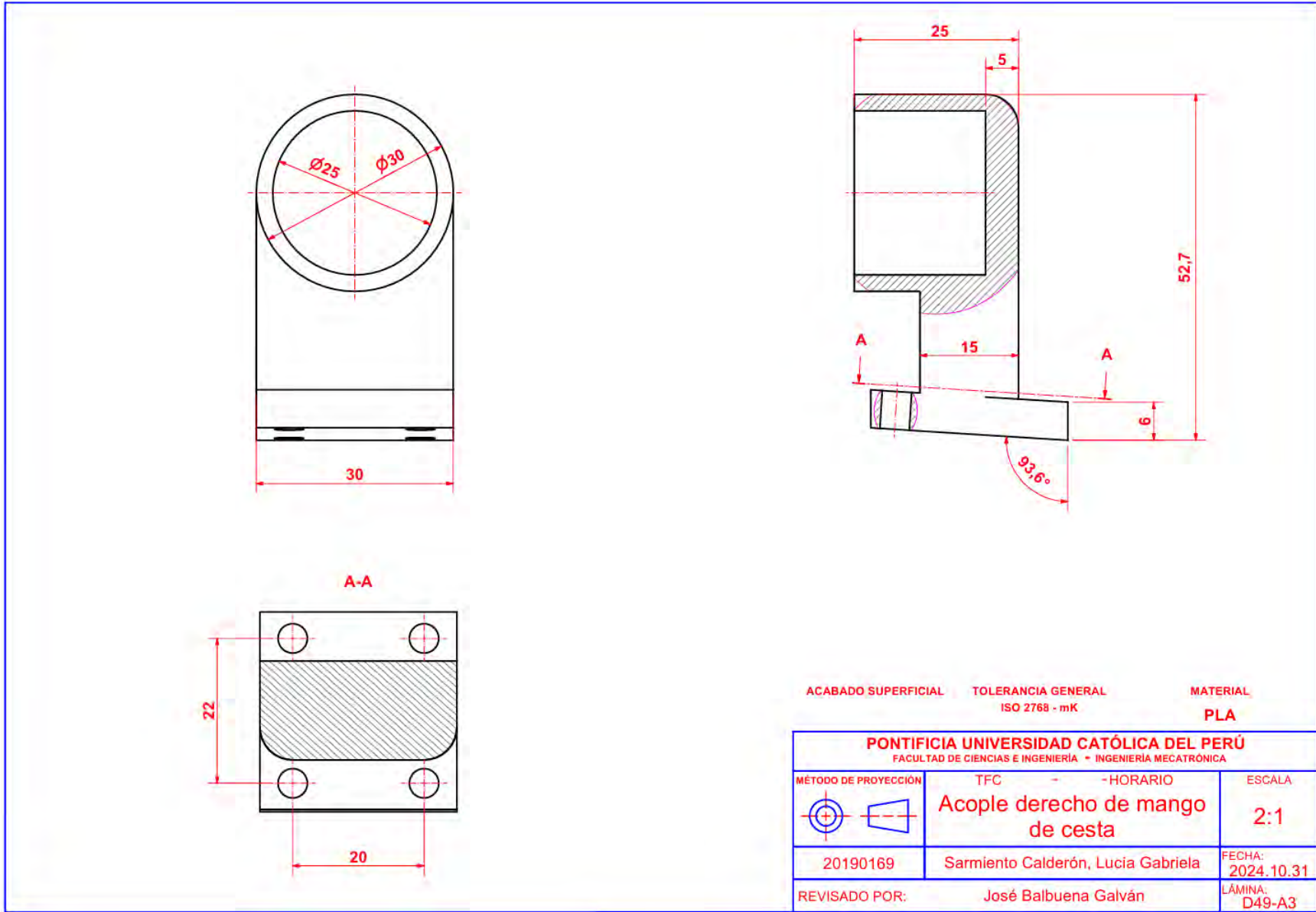


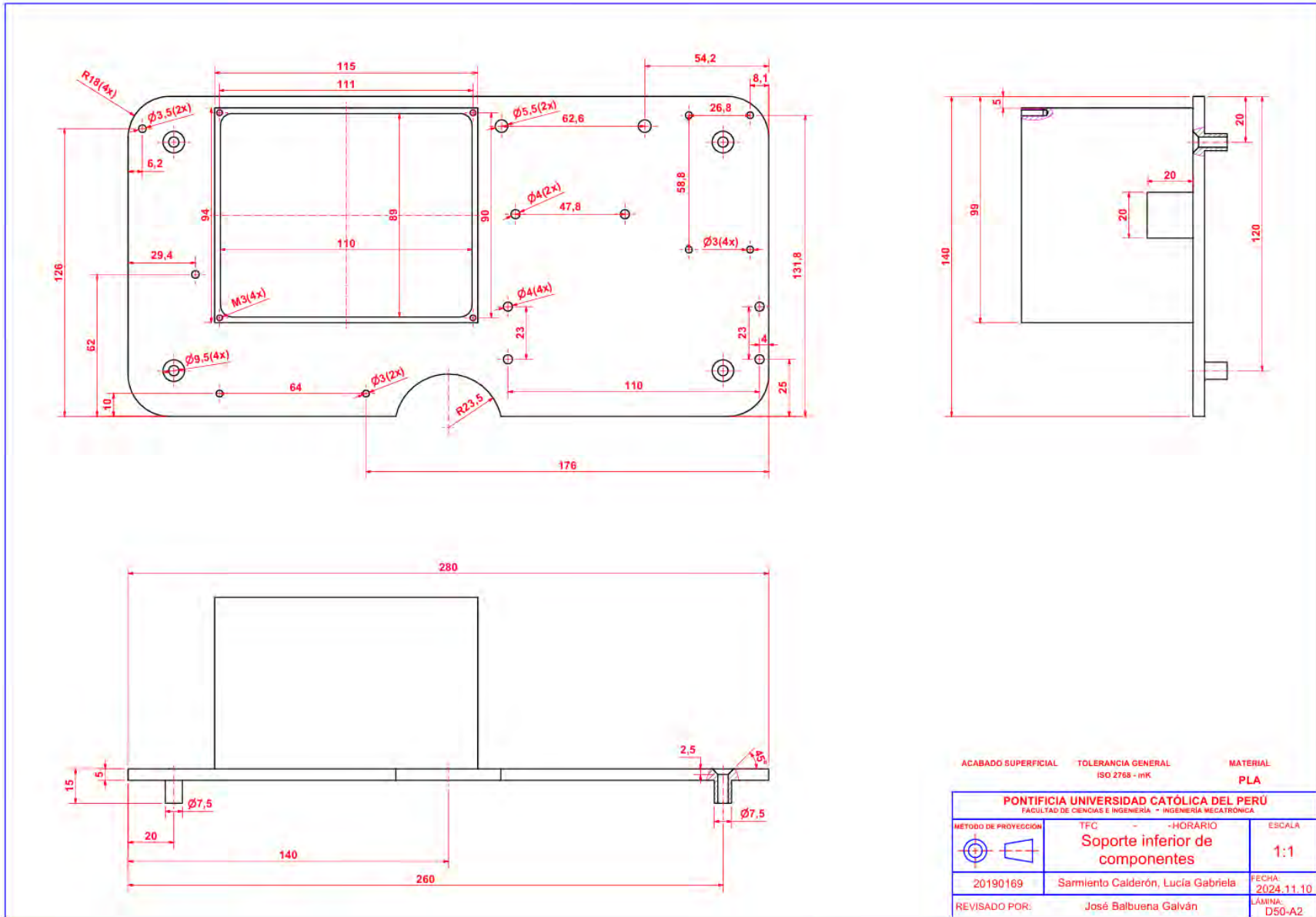


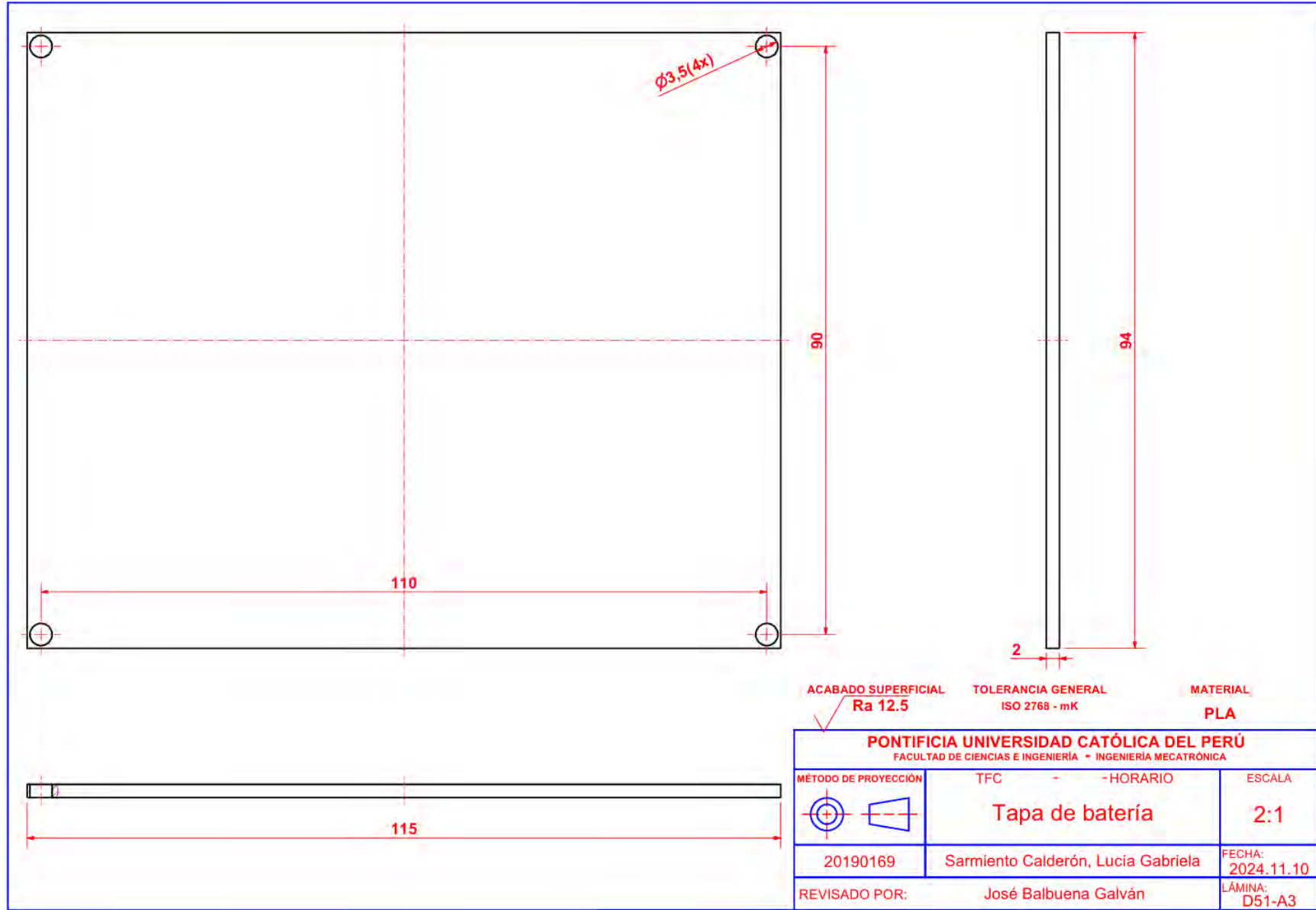
ACABADO SUPERFICIAL: Ra 12.5
 TOLERANCIA GENERAL: ISO 2768 - mK
 MATERIAL: ASTM A36

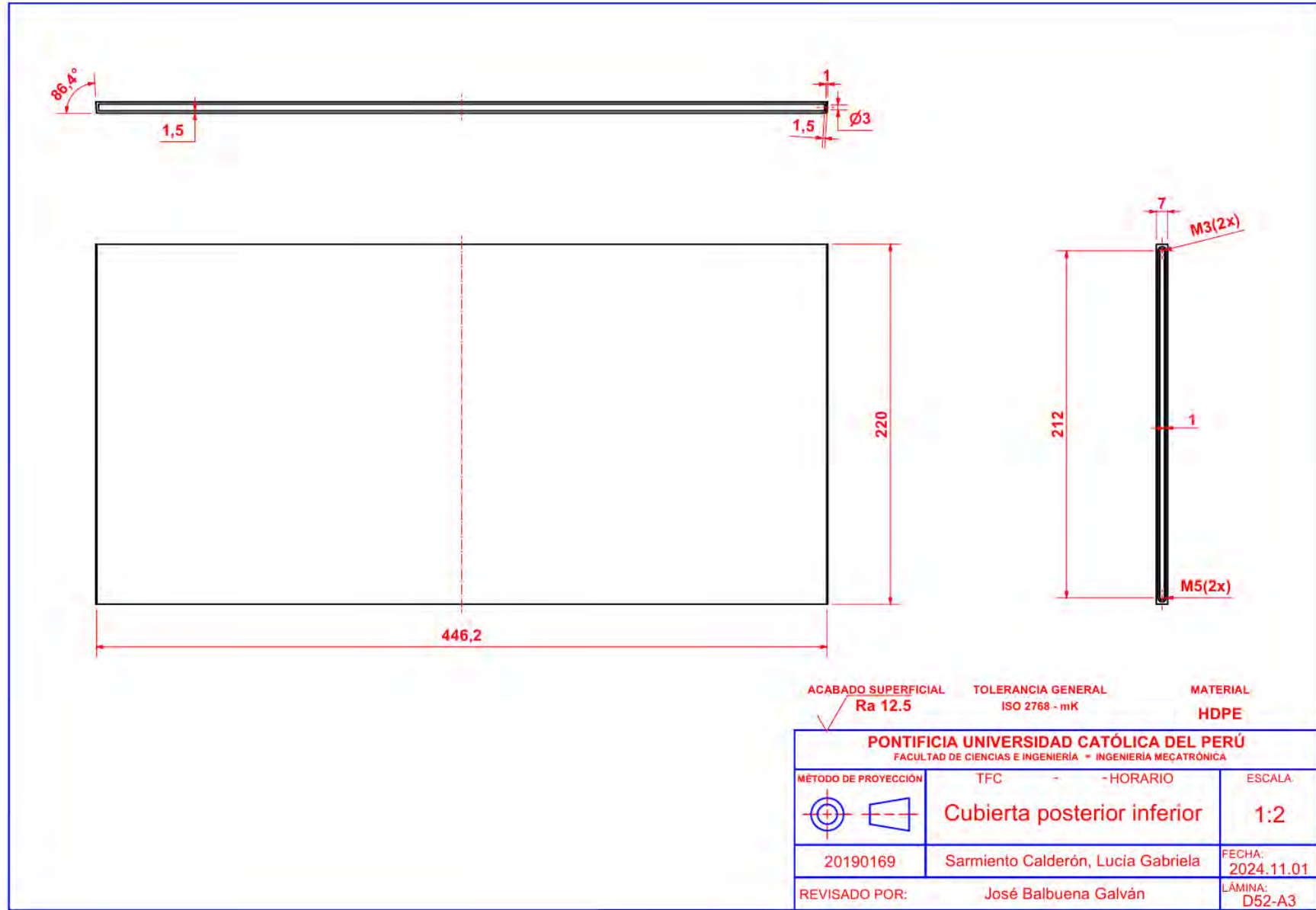
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA • INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN: 	TFC - HORARIO	ESCALA:
20190169	Pieza unión de acople - Silla de ruedas	2:1
REVISADO POR:	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.10.23
	José Balbuena Galván	LÁMINA: D47-A3

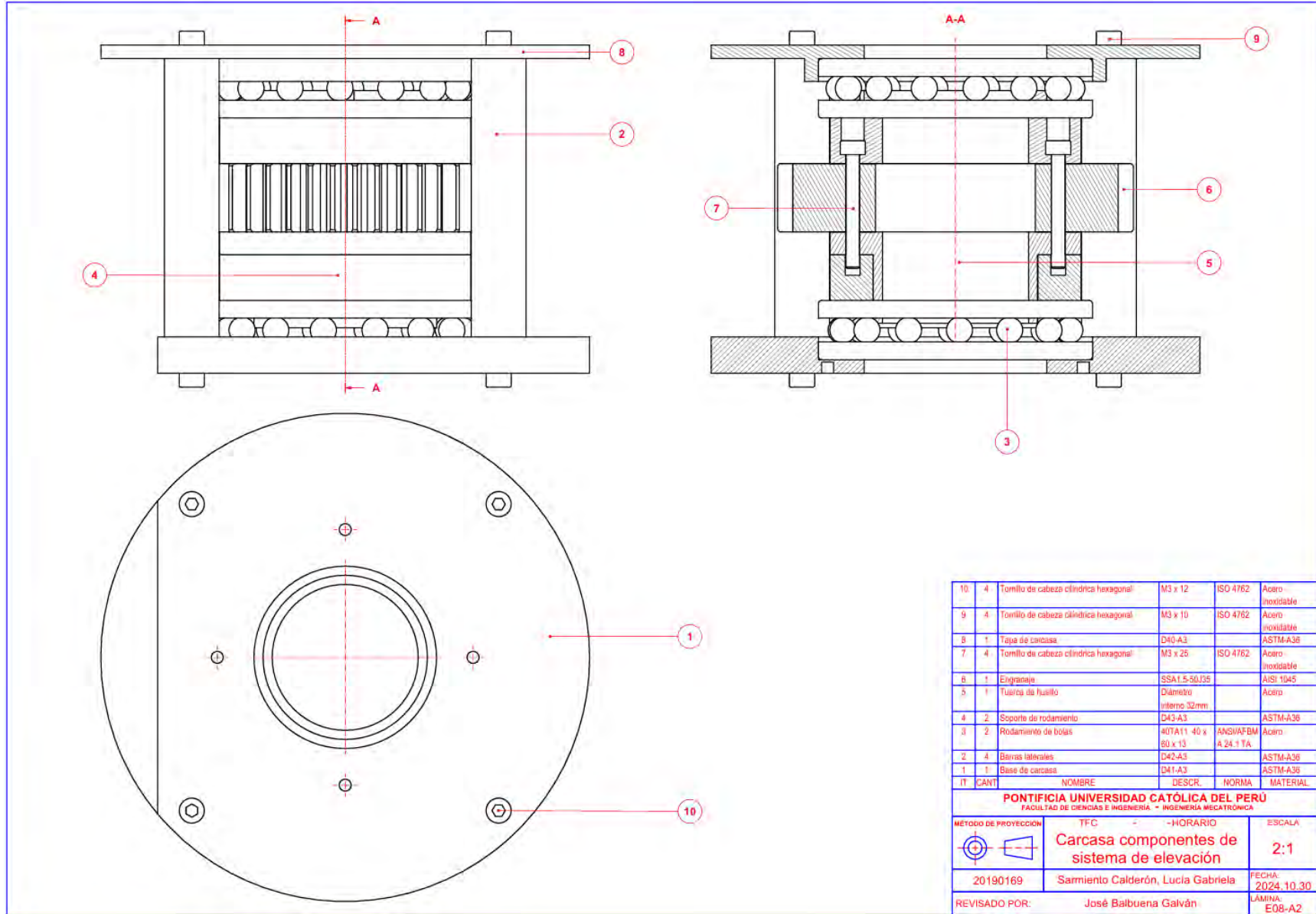


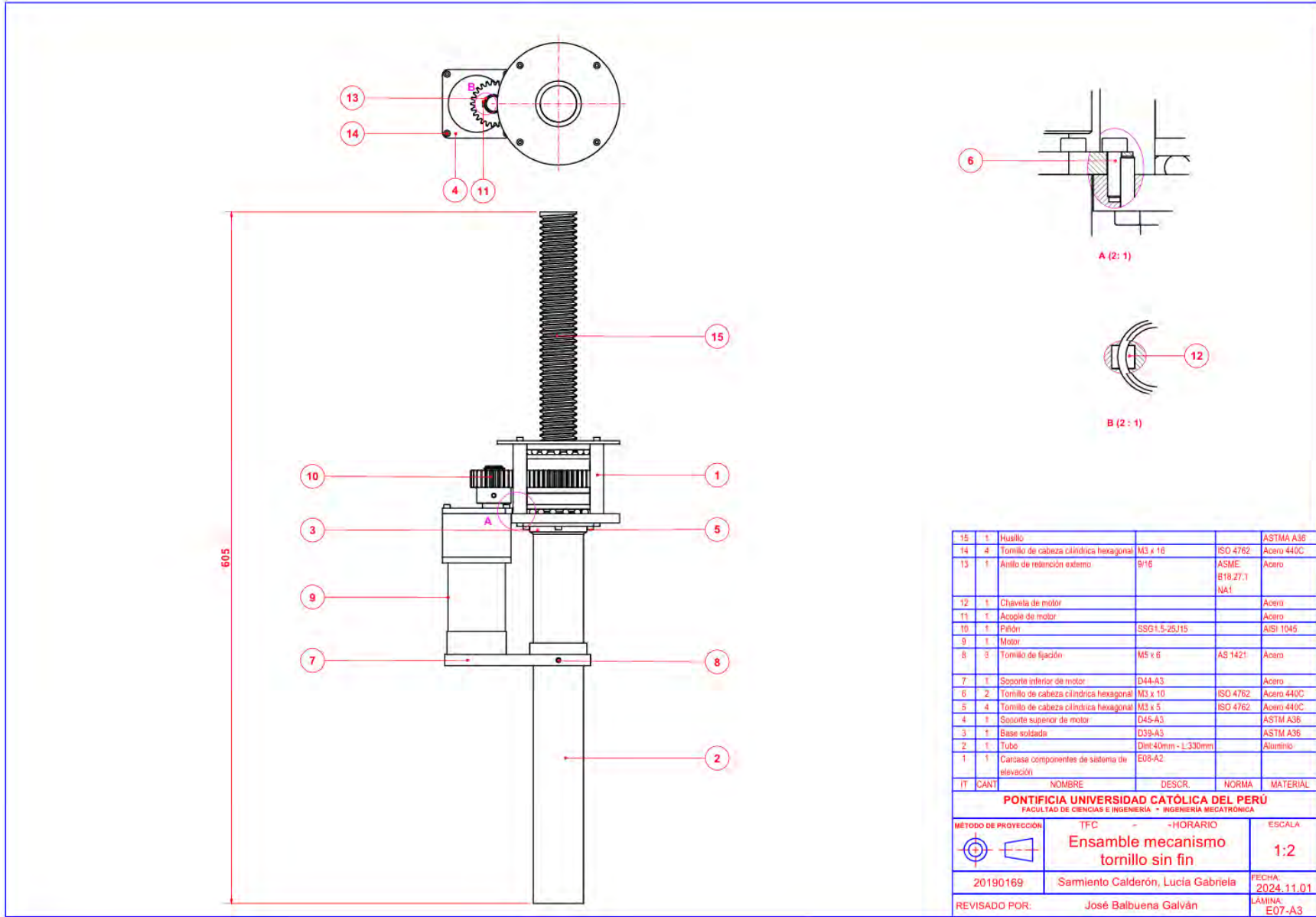






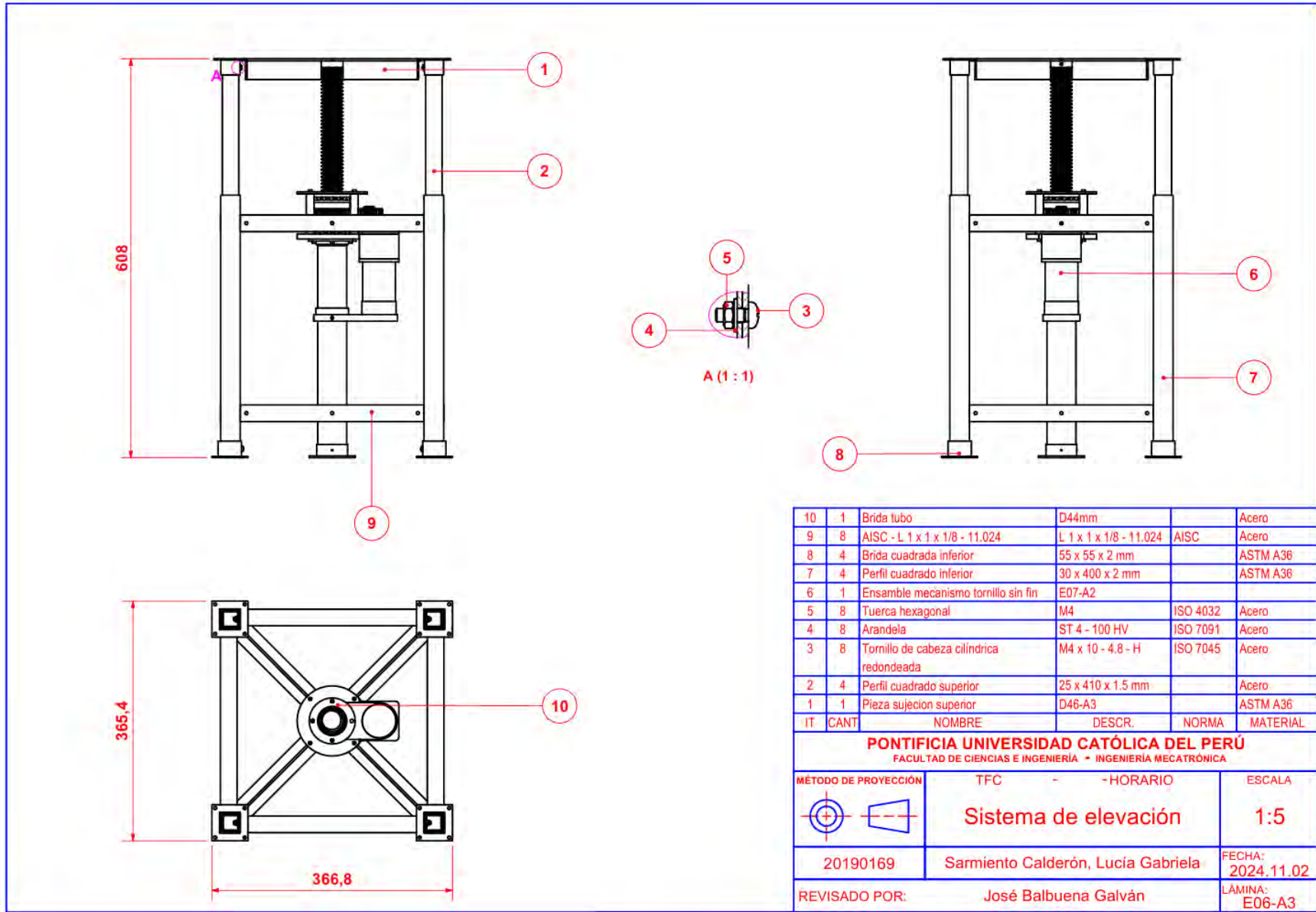






15	1	Husillo			ASTMA A36
14	4	Tomillo de cabeza cilíndrica hexagonal	M3 x 16	ISO 4762	Aceero 440C
13	1	Anillo de retención externo	9/16	ASME B18.27.1 NA1	Aceero
12	1	Chaveta de motor			Aceero
11	1	Acople de motor			Aceero
10	1	Pañón	SSG1.5-25J15		AISI 1045
9	1	Motor			
8	2	Tomillo de fijación	M5 x 6	AS 1421	Aceero
7	1	Soporte inferior de motor	D14-A3		Aceero
6	2	Tomillo de cabeza cilíndrica hexagonal	M3 x 10	ISO 4762	Aceero 440C
5	4	Tomillo de cabeza cilíndrica hexagonal	M3 x 5	ISO 4762	Aceero 440C
4	1	Soporte superior de motor	D45-A3		ASTM A36
3	1	Base soldado	D39-A3		ASTM A36
2	1	Tubo	Dint40mm - L.330mm		Aluminio
1	1	Carcasa componentes de sistema de elevación	E08-A2		
IT	CANT	NOMBRE	DESCR.	NORMA	MATERIAL

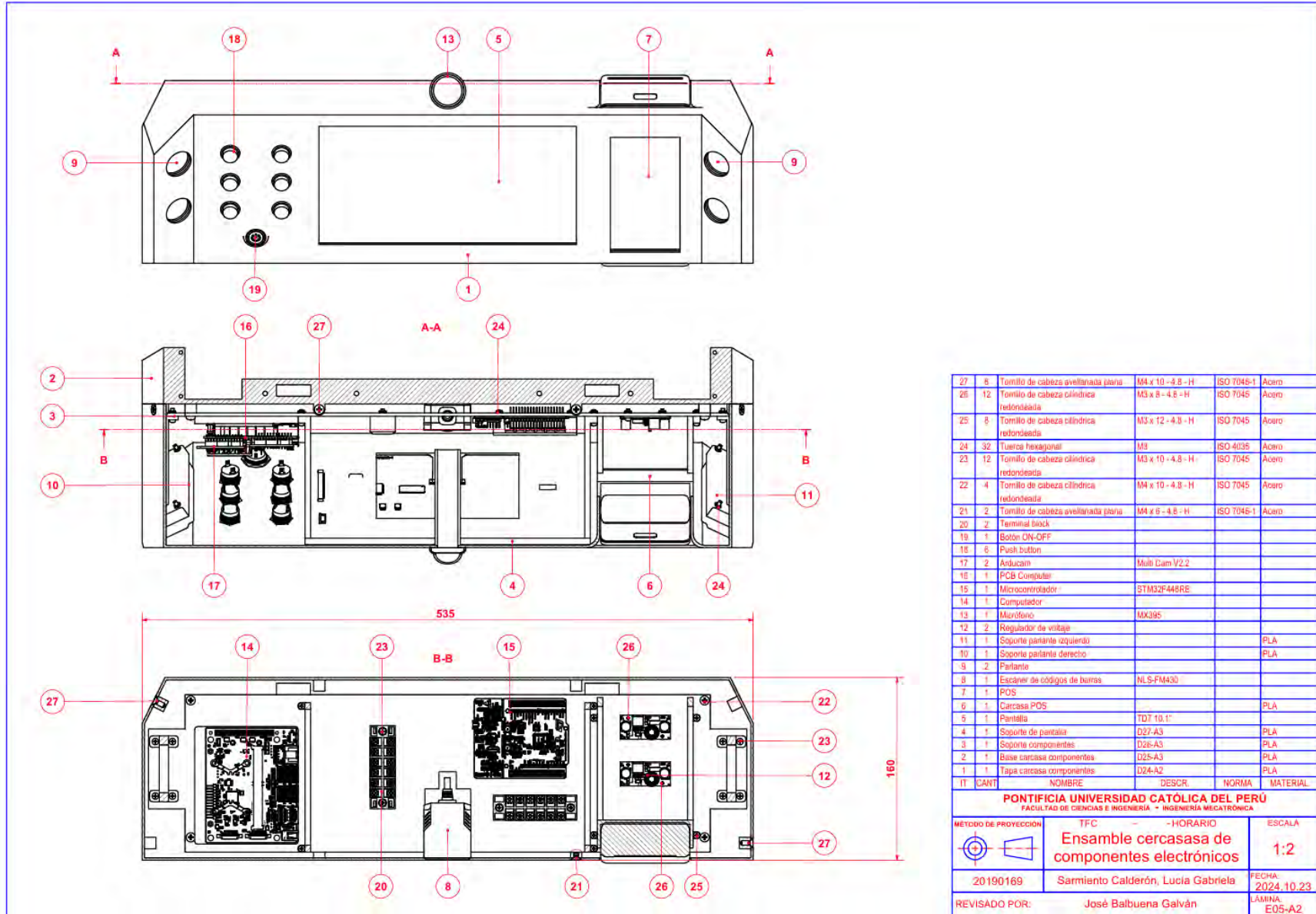
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - HORARIO	ESCALA
	-	1:2
20190169	Samiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.11.01
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: E07-A3

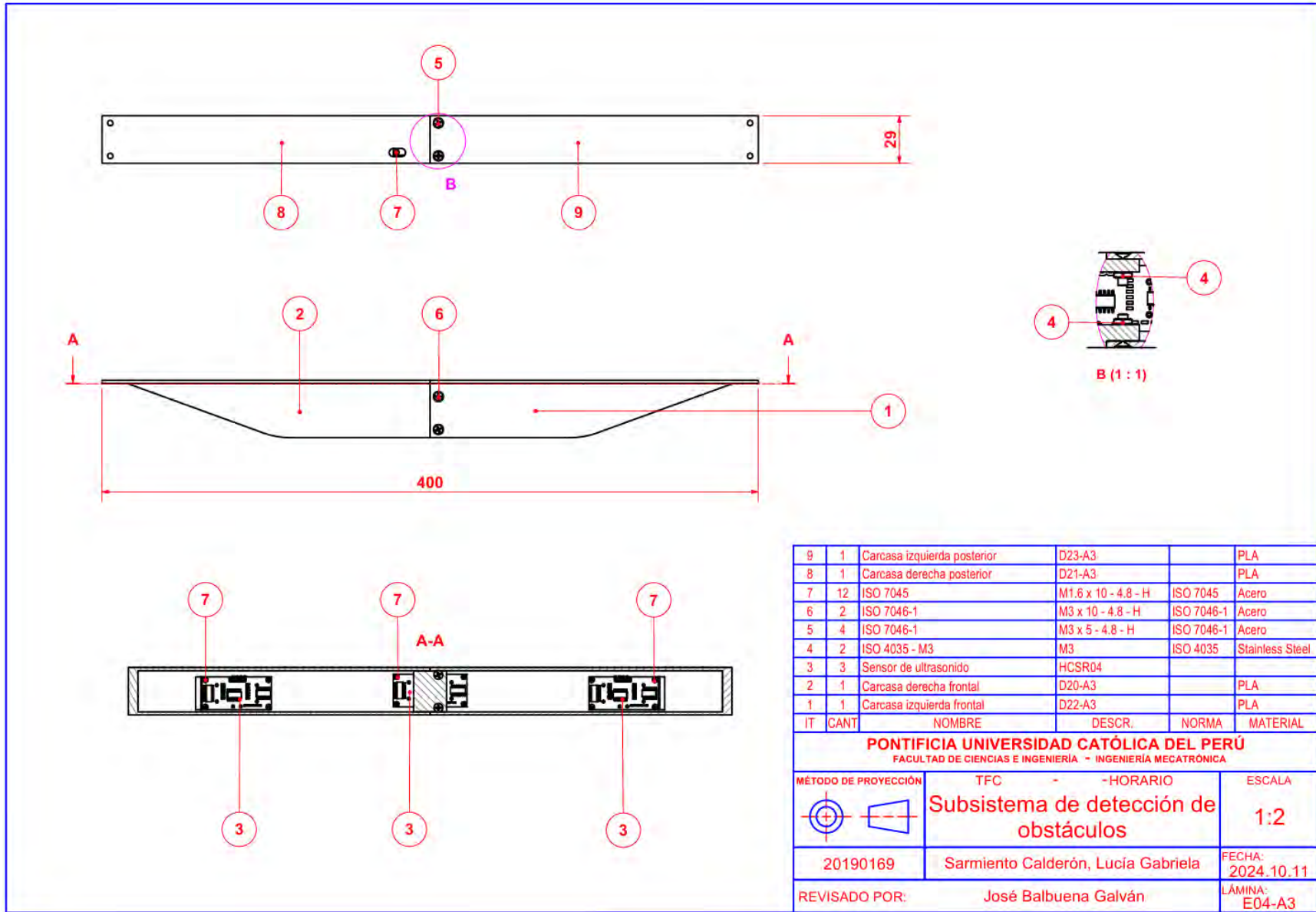


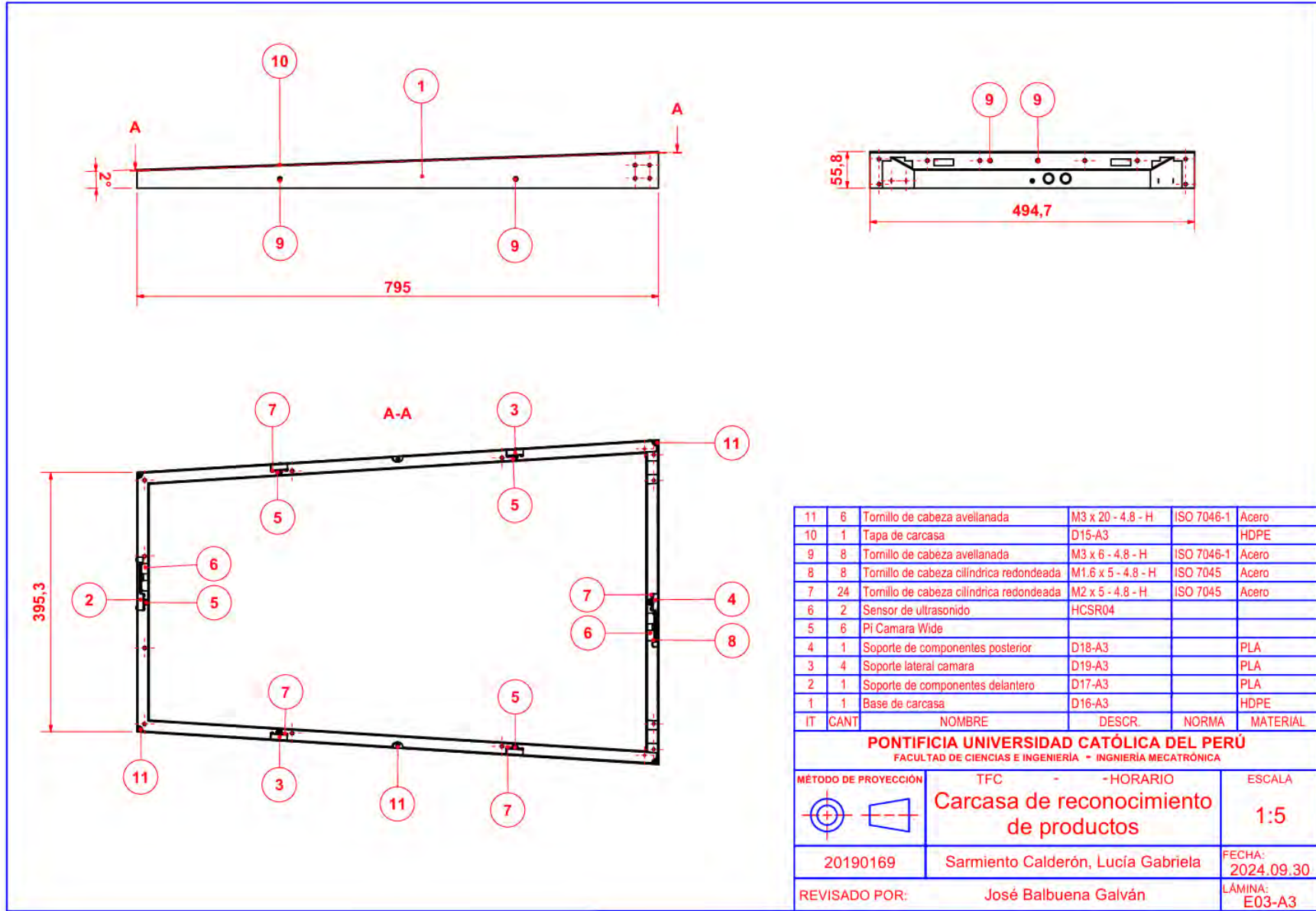
10	1	Brida tubo	D44mm		Acero
9	8	AISC - L 1 x 1 x 1/8 - 11.024	L 1 x 1 x 1/8 - 11.024	AISC	Acero
8	4	Brida cuadrada inferior	55 x 55 x 2 mm		ASTM A36
7	4	Perfil cuadrado inferior	30 x 400 x 2 mm		ASTM A36
6	1	Ensamble mecanismo tornillo sin fin	E07-A2		
5	8	Tuerca hexagonal	M4	ISO 4032	Acero
4	8	Arandela	ST 4 - 100 HV	ISO 7091	Acero
3	8	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	M4 x 10 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero
2	4	Perfil cuadrado superior	25 x 410 x 1.5 mm		Acero
1	1	Pieza sujeción superior	D46-A3		ASTM A36
IT	CANT	NOMBRE	DESCR.	NORMA	MATERIAL

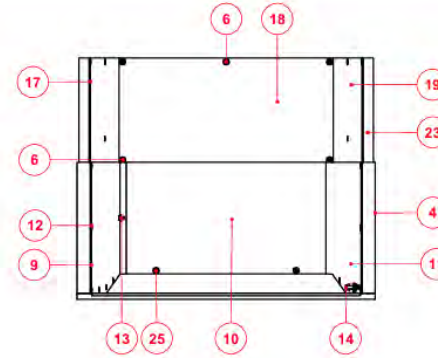
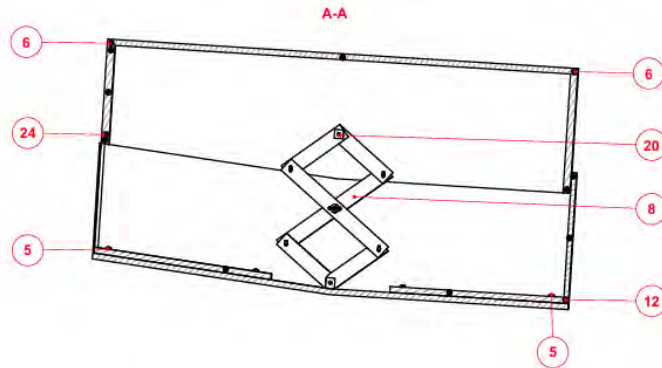
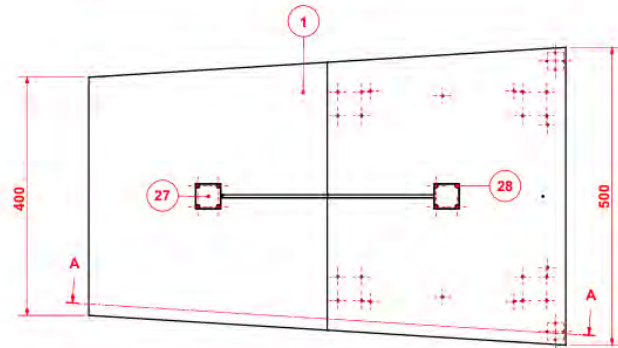
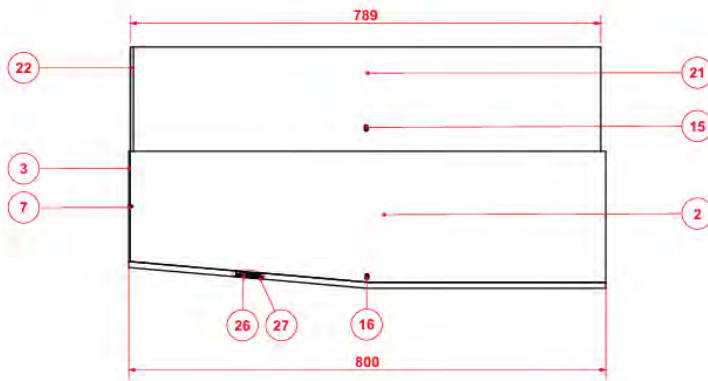
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA • INGENIERÍA MECATRÓNICA

MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - -HORARIO	ESCALA
	Sistema de elevación	1:5
20190169	Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela	FECHA: 2024.11.02
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: E06-A3









28	8	Tomillo de cabeza avellanada	M3 x 8 - 4.8 - H	ISO 7046-1	Acero
27	2	Tapa inferior de sensor de peso	D31-A3		PLA
26	2	Sensor de peso	Máximo 50kg		
25	2	Tomillo de cabeza avellanada	M5 x 20 - 4.8 - H	ISO 7046-1	Acero
24	6	Tomillo de cabeza cilíndrica redondeada	M5 x 20 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero
23	1	Lateral externo superior derecho	D11-A3		HDPE
22	1	Frontal externo superior	D13-A3		HDPE
21	1	Lateral externo superior izquierdo	D08-A3		HDPE
20	2	Pasador cilíndrico de cabeza plana	M6x16		Acero
19	1	Lateral interno superior derecho	D12-A3		HDPE
18	1	Frontal interno superior	D14-A3		HDPE
17	1	Lateral interno superior izquierdo	D10-A3		HDPE
16	4	Tuerca hexagonal	M2	ISO 4035	Acero inoxidable
15	4	Tomillo de cabeza cilíndrica redondeada	M2 x 8 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero
14	2	Pasador cilíndrico de cabeza plana	M5x20		Acero
13	6	Tomillo de cabeza avellanada	M3 x 6 - 4.8 - H	ISO 7046-1	Acero
12	10	Tomillo de cabeza avellanada	M4 x 10 - 4.8 - H	ISO 7046-1	Acero
11	1	Lateral interno inferior derecho	D08-A3		HDPE
10	1	Frontal interno inferior	D08-A3		HDPE
9	1	Lateral interno inferior izquierdo	D04-A3		HDPE
8	2	Mecanismo de tijera simple	E08-A3		
7	4	Tomillo de cabeza avellanada	M2 x 5 - 4.8 - H	ISO 7046-1	Acero
6	17	Tomillo de cabeza avellanada	M5 x 10 - 4.8 - H	ISO 7046-1	Acero
5	11	Tomillo de cabeza cilíndrica redondeada	M5 x 16 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero
4	1	Lateral externo inferior derecho	D05-A3		HDPE
3	1	Frontal externo inferior	D07-A3		HDPE
2	1	Lateral externo inferior izquierdo	D03-A3		HDPE
1	1	Base de la cesta	D02-A3		HDPE
IT	CANT	NOMBRE	DESCR.	NORMA	MATERIAL

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA - INGENIERÍA MECATRÓNICA		
MÉTODO DE PROYECCIÓN	TFC - HORARIO	ESCALA
	-	Cesta de compras 1:5
20190169	Sarmiento Calderón, Lucia Gabriela	FECHA: 26.09.2024
REVISADO POR:	José Balbuena Galván	LÁMINA: E02-A3

34	2	Tuerca hexagonal	M2.5	ISO 4032	Acero 440C
33	2	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	M2.5 x 3 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero 440C
33	4	Tornillos de cabeza avellanada plana	M4 x 20 - 4.8 - H	ISO 7045.1	Acero 440C
31	2	Tornillo Allen	M2.5 x 20	ISO 4762	Acero 440C
30	8	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	M3 x 9 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero 440C
28	1	Conexión eléctrica interna	ES10A2		
28	24	Tornillos de cabeza avellanada plana	M4 x 12 - 4.8 - H	ISO 7045.1	Acero 440C
41	4	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	M4 x 9 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero 440C
40	4	Tuerca hexagonal	M5	ISO 4032	Acero 440C
39	4	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	M5 x 20 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero 440C
44	6	Arandela plana	Ø7.5 - 100 HV	ISO 7091	Acero 440C
42	1	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	M4 x 12 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero 440C
41	12	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	M4 x 8 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero 440C
41	26	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	M4 x 10 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero 440C
40	32	Tuerca hexagonal	M6	ISO 4032	Acero 440C
39	20	Arandela plana	Ø7.5 - 100 HV	ISO 7091	Acero 440C
36	10	Tornillo Allen	M4 x 12	ISO 4762	Acero 440C
37	2	Tornillo Allen	M4 x 20	ISO 4762	Acero 440C
36	2	Tornillo Allen	M4 x 10	ISO 4762	Acero 440C
33	4	Tornillo Allen	M3 x 12	ISO 4762	Acero 440C
34	18	Tornillos de cabeza avellanada plana	M3 x 10 - 4.8 - H	ISO 7045.1	Acero 440C
35	8	Tuerca hexagonal	M10	ISO 4032	Acero 440C
32	6	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	M10 x 40 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero 440C
31	4	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	M10 x 20 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero 440C
30	6	Tuerca hexagonal	M10	ISO 4032	Acero 440C
29	18	Arandela plana	Ø7.10 - 100 HV	ISO 7091	Acero 440C
28	4	Tornillo de cabeza avellanada	M10 x 18 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero 440C
27	4	Tuerca hexagonal	M3	ISO 4032	Acero 440C
26	4	Arandela plana	Ø7.3 - 100 HV	ISO 7091	Acero 440C
25	4	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada	M3 x 6 - 4.8 - H	ISO 7045	Acero 440C
24	2	Pasadores con cabeza tipo resaca	Ø - 3 x 20	ISO 2341	Acero 440C
23	2	Tornillo de cabeza avellanada plana	M3 x 3 - 4.8 - H	ISO 7045.1	Acero 440C
22	2	Accesorio de giro	Asiento 05		Aluminio
21	2	Sector de final de carrera			
20	1	Carcasa inferior pasajer	G38-A3		HDPE
19	1	Carcasa inferior frontal	G37-A3		HDPE
18	1	Carcasa inferior lateral izquierda	G36-A3		HDPE
17	1	Carcasa inferior lateral derecha	G35-A3		HDPE
16	1	Carcasa superior pasajer	G34-A3		HDPE
15	1	Carcasa superior frontal	G33-A3		HDPE
14	1	Carcasa superior lateral izquierda	G32-A3		HDPE
13	1	Carcasa superior lateral derecha	G31-A3		HDPE
12	1	Manejo de empuje de mano	Diámetro 20mm		ASTM A304
11	2	Accesorio de manejo a mano	G29-A3		HDPE
10	1	Cilindro pistón interior	G25-A3		HDPE
9	1	Cilindro pistón exterior	G24-A3		HDPE
8	4	Sambrilla para el área grabado	SPR-0811 0800		
7	2	Accesorio de tipo de ruedas	ES10A1		
6	1	Sistema de elevación	ES6-A3		
5	1	Carcasa de comunicaciones eléctricas	ES5-A2		
4	1	Carcasa de sistema de reconocimiento de productos	ES4-A1		
3	1	Carcasa de sensor de obstáculos	ES3-A1		
2	1	Base de carro de compras	G19-A3		HDPE
1	1	Carro	ES2-A2		
17	UNIV	NOMBRE	DESCR	NORMA	MATERIAL

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
FACULTAD DE INGENIERIA E INGENIERIA DE SISTEMAS DE INGENIERIA METALURGICA

ETIQUETA DE IDENTIFICACION: TFC - HONORARIO - ESCALA

Ensamble de carro de compras 1:5

20190169 Sarmiento Calderón, Lucía Gabriela Fecha: 2024.11.11

REVISADO POR: José Balbuena Galván Materia: EGT-A1

ANEXO L: Plano electrónico

